

DIAGNÓSTICO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA DE PARBOILIZAÇÃO DE ARROZ

Jéssica Nicoladelli Mondardo

Florianópolis, 2018

Jéssica Nicoladelli Mondardo

DIAGNÓSTICO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA DE PARBOILIZAÇÃO DE ARROZ

Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para a con-
clusão do curso em Engenharia Sanitá-
ria e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Belli Filho

Florianópolis
2018

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.**

Nicoladelli Mondardo, Jéssica

Diagnóstico de tratamento de efluente de uma indústria de parboilização de arroz / Jéssica Nicoladelli Mondardo ; orientador, Paulo Belli Filho, 2018. 90 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Efluente industrial. 3. Parboilização de arroz. 4. Produção mais limpa. I. Belli Filho, Paulo . II. Universidade Federal de Santa Catarina.

Jéssica Nicoladelli Mondardo

**DIAGNÓSTICO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA
DE PARBOILIZAÇÃO DE ARROZ**

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para a
Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II.

Florianópolis, 26 de junho de 2018.



Prof. Dr. Paulo Belli Filho
Orientador

Banca Examinadora:



Prof.ª Dr.ª, Maria Eliza Nagel Hassemer
Membro da banca



Bruna Scandolara Magnus
Membro da banca

Este trabalho é dedicado à minha família, por sempre ter dado todo o apoio necessário para que eu realizasse essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter sido minha fonte de luz e ter sempre estado na minha mente, nos bons e maus momentos durante toda essa jornada acadêmica.

Agradeço em especial toda a minha família, a qual sempre fez de tudo para que eu atingisse esse grande desafio. À minha mãe, Maristela Nicoladelli Mondardo, por ter sido sempre tão carinhosa e companheira comigo, mesmo quando eu estava em momentos estressantes. Ao meu pai, Eliezer Mondardo, por sempre ter me apoiado e ter feito os mais deliciosos pratos. Ao meu irmão, Julio Nicoladelli Mondardo, por sempre ter me ajudado quando precisei de algo. À minha cachorra Luna, que fez com que os períodos mais estressantes fossem amenizados através de brincadeiras, carinhos e lambidas. E ao meu gato, Mimi, que mesmo sendo um pouco arisco, soube demonstrar o seu carinho.

Agradeço também ao meu namorado, Mike Fanning, o qual sempre me apoiou durante os maiores desafios que enfrentei, que teve muita paciência em me ouvir reclamar das coisas e que através de suas palavras me incentivou a persistir os meus sonhos.

Às minhas amigas da faculdade, do intercâmbio e do colégio, que fizeram com que todo esse período fosse mais leve e que me apoiaram e me ajudaram quando precisei.

Ao meu orientador Prof. Paulo Belli Filho por toda a sua paciência, dedicação e sugestões dadas.

À indústria Cereais Célia por ter autorizado a realização deste trabalho no seu espaço e também aos seus funcionários, que não mediram esforços em me auxiliar nas visitas e fornecimento de informações.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente me auxiliaram para que eu concluísse mais essa grande etapa da minha vida, o meu muito obrigada!

RESUMO

A atividade industrial de parboilização de arroz é bastante presente no sul do estado de Santa Catarina. Essa atividade produz uma grande quantidade de efluente, visto que são gerados 4 litros para cada quilo de arroz processado, além do enorme volume de cascas e cinzas de arroz. Diante disso, é fundamental que haja um tratamento de efluente eficiente, além da busca por alternativas que tragam benefícios ambientais e econômicos para a indústria. Com base nisso, este trabalho propôs a realização do diagnóstico do tratamento de efluente de uma indústria de beneficiamento de arroz localizada na cidade de Meleiro. Esse diagnóstico resultou na avaliação do afluente e efluente da estação de tratamento de esgoto (ETE), na avaliação dos aspectos positivos e adequações sobre as limitações da ETE e do processo industrial, além da identificação de oportunidades para implantação dos princípios da produção mais limpa na indústria. O estudo se procedeu a partir de visitas *in-loco*, entrevistas com funcionários e pesquisa bibliográfica sobre os processos de parboilização de arroz e produção mais limpa. Os principais resultados obtidos através desse trabalho foram: a possibilidade de tratamento de DBO, fósforo e nitrogênio através de um pós-tratamento composto por lagoa aerada facultativa e lagoa de polimento; a oportunidade de geração e fornecimento de energia através da combustão das cascas de arroz; a possível comercialização da sílica presente nas cinzas da casca de arroz para uso na construção civil ou em artefatos de borracha; a possibilidade de avaliar a utilização das cinzas da casca de arroz como material adsorvente para o tratamento de odor ou, ainda, a implantação de um biofiltro para o tratamento do mesmo.

Palavras-chave: Parboilização de arroz. Efluente industrial. Produção mais limpa.

ABSTRACT

The industrial activity of parboiling rice is very present in the southern state of Santa Catarina. This activity produces a large amount of effluent, since 4 liters are generated for each kilo of processed rice, in addition to the enormous volume of rice husks and ashes. Faced with this, it is essential that there is an efficient treatment of effluent, as well as the search for alternatives that bring environmental and economic benefits to the industry. Based on this, this work proposed the diagnosis of the effluent treatment of a rice processing industry located in the city of Meleiro. This diagnosis resulted in the assessment of the effluent of the wastewater treatment plant (WWTP), the evaluation of the positive aspects and adequacies on the limitations of the WWTP and the industrial process, as well as the identification of opportunities for implementation of the principles of cleaner production in the industry. The study was carried out from visits in the industry, interviews with workers and bibliographical research on the processes of rice parboilization and cleaner production. The main results obtained through this work were: the possibility of treatment of BOD, phosphorus and nitrogen through a post-treatment composed of facultative aerated lagoon and polishing lagoon; the opportunity for generation and supply of energy through the coexistence of rice husks; the possible commercialization of silica present in the ash of rice husks for use in construction or in rubber articles; the possibility of evaluating the use of the ashes of the rice husk as adsorbent material for the treatment of odor or, also, the implantation of a biofilter for the treatment of the same.

Keywords: Parboiled rice. Industrial effluent. Cleaner production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma dos grãos.....	29
Figura 2 - Tanques de encharcamento	30
Figura 3- Forno de gelatinização	31
Figura 4 - Tanque de secagem.....	31
Figura 5 - Hierarquia da produção mais limpa	38
Figura 6 - Mapa de localização da cidade onde está a indústria. 40	
Figura 7 - Fluxograma da água.....	45
Figura 8 - Tanque de aquecimento da água.....	46
Figura 9 - Caixa de cinzas	47
Figura 10 – Pré-decantador.....	48
Figura 11 - Decantação primária	49
Figura 12 - Ciclones	50
Figura 13 - Lavador de gás.....	51
Figura 14 - Tanques de soluções com coagulantes.....	52
Figura 15 – Decantadores secundário e terciário.....	53
Figura 16 - Misturador hidráulico	53
Figura 17 - Floculação.....	54
Figura 18 - Filtros.....	54
Figura 19 - Caixa de concreto com tubulação subterrânea	55
Figura 20 - Efluente final.....	55
Figura 21 - pH do afluente da ETE.....	57
Figura 22 - DBO do afluente da ETE.....	58
Figura 23 - DQO do afluente da ETE.....	59
Figura 24 - pH efluente da ETE.....	60
Figura 25 - Sólidos sedimentáveis efluente da ETE.....	61
Figura 26 - Sólidos totais efluente da ETE.....	62
Figura 27 - Sólidos suspensos totais efluente da ETE.....	63
Figura 28 - Nitrogênio amoniacal efluente da ETE.....	64
Figura 29 - Fósforo total efluente da ETE.....	65
Figura 30 - DQO efluente da ETE.....	66
Figura 31 - DBO efluente da ETE.....	67
Figura 32 - <i>Inputs e Outputs</i> do processo industrial	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização físico-químicas do efluente de parboilização de arroz.....	34
Tabela 2 - pH do afluente da ETE	56
Tabela 3 - DBO do afluente da ETE.....	57
Tabela 4 - DQO do afluente da ETE	58
Tabela 5 - pH efluente da ETE	60
Tabela 6 - Sólidos sedimentáveis efluente da ETE.....	61
Tabela 7 - Sólidos totais efluente da ETE	62
Tabela 8 - Sólidos suspensos totais efluente da ETE.....	63
Tabela 9 - Nitrogênio amoniacal efluente da ETE	64
Tabela 10 - Fósforo total efluente da ETE.....	65
Tabela 11 - DQO efluente da ETE	66
Tabela 12 - DBO efluente da ETE.....	67
Tabela 13 - Eficiência de remoção DBO	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCA – Cinza de Casca de Arroz

CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

MMA – Ministério do Meio Ambiente

P+L – Produção mais Limpa

UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

UNEP – *United Nations Environment Programme*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	OBJETIVOS	25
1.1.1	Objetivo geral	25
1.1.2	Objetivos específicos	25
2	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1	PROCESSO DE PARBOILIZAÇÃO DO ARROZ.....	27
2.1.1	A cultura do arroz no Brasil	27
2.1.2	A cultura do arroz em Santa Catarina.....	27
2.1.3	Beneficiamento do grão do arroz.....	28
2.1.4	Arroz parboilizado	28
2.1.5	Subprodutos gerados no processo de beneficiamento de arroz	32
2.1.6	Características das águas residuárias no processo de parboilização de arroz	33
2.1.7	Impactos ambientais	34
2.1.8	Processos de tratamento de efluente de arroz parboilizado	35
2.1.9	Tratamento de efluentes físico-químico	36
2.2	PRODUÇÃO MAIS LIMPA: CONCEITOS BÁSICOS SOBRE O ASSUNTO.....	37
2.2.1	Introdução a produção mais limpa (P+L).....	37
2.2.2	Benefícios da produção mais limpa	39
2.2.3	Etapas para implementação de um programa P+L	39
3	METODOLOGIA	40
3.1	LOCAL DO ESTUDO DE CASO	40
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO AFLUENTE E EFLUENTE DA ETE	40
3.2.1	pH	41
3.2.2	DQO – Demanda química de oxigênio	41
3.2.3	DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio	41

3.2.4	SST – Sólidos Suspensos Totais	41
3.2.5	ST – Sólidos Totais.....	41
3.2.6	SS – Sólidos Sedimentáveis	42
3.2.7	P – Fósforo.....	42
3.2.8	N – Nitrogênio	42
3.3	IDENTIFICAÇÃO DE LIMITAÇÕES E ASPECTOS POSITIVOS DA ETE E DO PROCESSO INDUSTRIAL.....	42
3.4	PRINCÍPIOS DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1	FLUXO DA ÁGUA.....	46
4.1.1	Poço artesiano	46
4.1.2	Tanque para aquecimento da água	46
4.1.3	Tanque de encharcamento	46
4.1.4	Limpeza das cinzas	47
4.1.5	Caixa das cinzas	47
4.1.6	Pré-Decantação	47
4.1.7	Decantação primária	48
4.1.8	Ciclone	49
4.1.9	Lavador de gás	50
4.1.10	Coagulação	51
4.1.11	Floculação, decantação secundária e terciária	52
4.1.12	Filtros	54
4.1.13	Corpo hídrico	55
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO AFLUENTE E EFLUENTE DA ETE	56
4.2.1	Afluente da ETE.....	56
4.2.2	Efluente da ETE.....	59
4.3	ASPECTOS POSITIVOS E LIMITAÇÕES.....	68
4.3.1	Aspectos positivos	68
4.3.2	Limitações.....	69

4.4	OPORTUNIDADES PARA MELHORIAS E IMPLANTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA P+L	70
4.4.1	Emissões gasosas	71
4.4.2	Efluente líquido	73
4.4.3	Resíduos sólidos.....	76
5	CONCLUSÃO	82
6	REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

Diante da crescente industrialização e diminuição dos recursos naturais disponíveis, a preocupação com o impacto ambiental causado pelas atividades industriais e a preservação da natureza está cada vez mais presente no dia-a-dia da sociedade. Com a busca do avanço industrial sem prejudicar o meio ambiente, novas leis, tecnologias e medidas estão sendo criadas de modo a visar um equilíbrio sustentável entre eles. Essas medidas são fundamentais, visto que o funcionamento das indústrias, em geral, produz uma grande quantidade de resíduos, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos. Devido a isso, é essencial o correto tratamento e destinação de tais resíduos, visto que eles podem alterar as características do solo, da água, da fauna e flora do local, além de causarem a contaminação do meio ambiente.

O processo de parboilização de arroz é uma atividade industrial bastante presente no sul de estado de Santa Catarina, principalmente na região da cidade de Meleiro. Essa atividade produz uma grande quantidade de efluente, visto que são gerados 4 litros para cada quilo de arroz processado (LOPES et. al; 2001). Esse efluente, que é caracterizado como um material líquido resultante do processo de parboilização, é rico em carga orgânica e nutrientes e se não for tratado adequadamente, pode trazer danos aos cursos hídricos onde será lançado.

Devido a essas razões, faz-se necessário o diagnóstico do tratamento de efluentes de uma empresa desse ramo, a fim de verificar a eficiência do tratamento, os padrões de lançamentos do efluente tratado, quais processos podem ser aperfeiçoados, além de buscar por oportunidades de implantação dos princípios da Produção mais Limpa, visando garantir um menor impacto econômico e ambiental.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Diagnosticar o sistema de tratamento de efluentes de uma indústria de parboilização de arroz na cidade de Meleiro, Santa Catarina.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar as características do afluente e do efluente da estação de tratamento de esgoto.

- Avaliar limitações, aspectos positivos e propor adequações na estação de tratamento de esgoto e do processo industrial.
- Identificar oportunidades para a implantação dos princípios da produção mais limpa na indústria de parboilização de arroz.

2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROCESSO DE PARBOILIZAÇÃO DO ARROZ

2.1.1 A cultura do arroz no Brasil

O arroz é um dos cereais cultivados mais antigos do mundo, visto que seu cultivo já ocorria na China por volta de 2.800 a.C. (FLANDRIN; MONTANARI, 1998).

Esse alimento foi trazido para o Brasil pela frota de Pedro Álvares Cabral e tem-se relatos de que o primeiro cultivo ocorreu em 1530 na capitania de São Vicente. Posteriormente, o cultivo foi se espalhando pelo litoral do Brasil e somente em 1904 é que foi criado a primeira lavoura empresarial com irrigação. Atualmente ele está entre os três cereais mais cultivados no mundo (PEREIRA, 2002).

Esse alimento encontra-se na base alimentar de bilhões de pessoas. O consumo médio mundial é de 60 kg/pessoa/ano, sendo os países asiáticos os que mais consomem. Já no Brasil, a média é de 45 kg/pessoa/ano (SOSBAI, 2014).

2.1.2 A cultura do arroz em Santa Catarina

O cultivo de arroz irrigado em Santa Catarina iniciou-se no Vale do Itajaí no início do século XX. Atualmente ele é cultivado nas regiões do Alto, Médio e Baixo Vale do Itajaí, Litoral Norte e Região Sul do estado (CONAB, 2015).

Santa Catarina é o segundo maior produtor nacional de arroz. Seu setor agroindustrial é constituído por mais de 60 indústrias de beneficiamento nas regiões de Araranguá e Criciúma (SOSBAI, 2014) e essas regiões correspondem a 61% da produção estadual.

Atualmente, o consumo de arroz beneficiado em Santa Catarina é de 250 mil toneladas anuais, o que corresponde cerca de 25% da quantidade total produzida. A outra parte do arroz beneficiado é comercializado para outros estados como São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro e estados do Nordeste brasileiro (EPAGRI, 2006).

As indústrias de beneficiamento de arroz no estado são bastante automatizadas. A linha de produção delas conta com componentes eletrônicos, como selecionadoras de grão com sensores fotoelétricos, balanças digitais acopladas às máquinas empacotadoras e medidores digitais nas caldeiras ligados a computadores. Por essas razões, não há contato hu-

mano durante o processo de beneficiamento do arroz e a mão-de-obra utilizada é apenas para a checagem, manutenção e limpeza dos equipamentos e em parte do empacotamento (MEDEIROS, 2006).

Apesar da alta tecnologia utilizada e do elevado desempenho na produção de arroz, ainda é preciso investir em medidas para a redução de impactos ambientais, desenvolvimento de tecnologias mais limpas e cultivos mais eficientes, a fim de tornar a produção de arroz mais sustentável (EPAGRI, 2006).

2.1.3 Beneficiamento do grão do arroz

De acordo com o Regulamento Técnico do arroz no Brasil, descrito na Instrução Normativa nº 6, de 18 de fevereiro de 2009 (BRASIL, 2009), arroz beneficiado é o produto maduro que foi submetido a algum processo de beneficiamento e se encontra desprovido, no mínimo, de sua casca.

No Brasil, os principais subgrupos de arroz consumidos são: integral, polido, parboilizado polido e parboilizado integral. Além desses, há diversos outros tipos de arroz cultivados, como o arroz negro, japonês, jasmim, arbóreo, etc. (AMATO, 2007).

Para a realização deste trabalho, será focado no processo de arroz parboilizado, que é o que gera uma maior quantidade de efluentes dentro da indústria.

2.1.4 Arroz parboilizado

A palavra parboilizado tem como origem o termo inglês *parboiled* que por sua vez refere-se a *partial boiled*, parcialmente fervido (AMATO & ELIAS, 2005).

No Brasil, a tecnologia de parboilização foi introduzida em 1950 e hoje ela é a mais avançada do mundo, o que proporcionou um acréscimo significativo na qualidade do produto parboilizado e faz com que as indústrias conquistem diferentes nichos do mercado consumidos (AMATO & ELIAS, 2005).

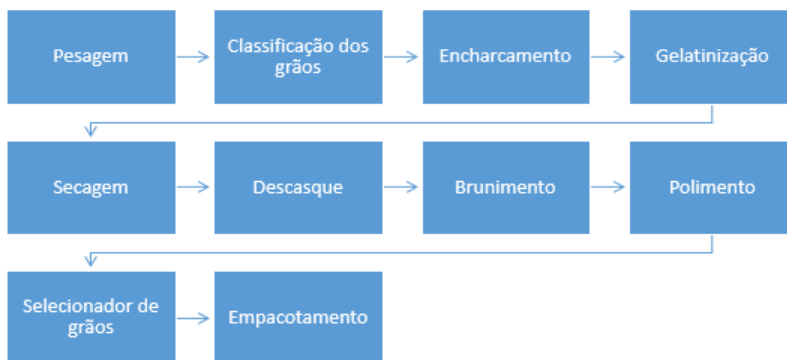
A parboilização é um processo hidrotérmico, em que o arroz parboilizado é submetido, ainda em casca, a um tratamento com base em água e calor e possui coloração amarelada típica, apresentando-se soltinho após o seu cozimento (AMATO et. al, 2002).

Segundo Amato & Elias (2005), dentre as vantagens do processo de parboilização estão: maior retenção do teor de tiamina (vitamina B1) nos grãos, redução na quebra durante a moagem, aumento no rendimento

industrial, esterilização do grão, aumento de vida de prateleira e redução da adesividade.

A Figura 1 representa o fluxograma do processo de parboilização de arroz da indústria desse estudo. Este trabalho focará nas etapas de encharcamento, gelatinização e secagem, as quais são as principais etapas do processo e que também geram água residuária.

Figura 1 - Fluxograma dos grãos



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

2.1.4.1 Encharcamento

O encharcamento ocorre dentro de grandes tanques cheios de água quente (Figura 2), onde o arroz é colocado com casca e fica por um determinado período. A água desse processo tem um maior ou menor grau de poluição, dependendo do tempo e da temperatura em que o grão permanece ali (QUEIROZ; KOETZ, 1997). A quantidade de arroz, de água quente e o tempo total do processo varia de acordo com a classificação do arroz e da indústria.

Nesse processo, as vitaminas e sais minerais – então concentradas na película e no germe – são solubilizados na água que está sendo conduzida para o centro do grão, enriquecendo-o. Nessa etapa o arroz com casca entra com 13% de umidade e sai desse processo com 30% (AMATO, 2008).

Figura 2 - Tanques de encharcamento



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

2.1.4.2 Gelatinização

Nessa etapa o arroz é submetido a uma temperatura ainda mais elevada, sob pressão de vapor, e é onde ocorre uma alteração na estrutura do grão e a fixação das vitaminas e sais minerais que migraram da casca para o interior do grão (ABIAP, 2013).

Este processo ocorre dentro de uma fornalha (Figura 3), cujo interior existem grandes cilindros giratórios que são aquecidos pela queima da casca de arroz. Esse é um processo rápido, que varia entre 1 a 3 minutos e o arroz sai com umidade de 18,5%.

Figura 3- Forno de gelatinização



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

2.1.4.3 Secagem

Essa etapa ocorre num tanque de secagem (Figura 4), que serve para retirar o restante da umidade do arroz, o qual sai desse processo com a umidade de 13%, a qual era a sua umidade inicial. Após esse processo ocorre o descasque, o brunimento, o polimento, o seccionamento e o empacotamento dos grãos.

Figura 4 - Tanque de secagem



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

2.1.5 Subprodutos gerados no processo de beneficiamento de arroz

2.1.5.1 Resíduo sólido

É classificado como resíduo sólido todo material que sobra de um processo e que é descartado na forma sólida. Conforme um estudo realizado por Saidelles et. al (2012), os resíduos produzidos em maior quantidade no processo de beneficiamento de arroz são: casca de arroz, proveniente do descasque, e as cinzas, as quais são geradas no processo de gelatinização e no aquecimento da água. Além disso, segundo Foletto et. al (2005), é considerado que o percentual da casca de arroz equivale a 20% da massa total do grão, o que corresponde a um volume bastante expressivo, visto que ela possui baixa densidade (130 kg/m^3).

2.1.5.2 Efluente gasoso

É classificado como poluente atmosférico toda e qualquer forma de matéria ou energia que possui parâmetros em desacordo com os limites estabelecidos pela legislação e que possa tornar o ar impróprio, nocivo à saúde ou danoso à fauna e flora, conforme a Resolução Conama – Conselho Nacional do Meet. io Ambiente nº 3/1990 (CONAMA, 1990).

As principais fontes de emissões gasosas deste trabalho são: a combustão das cascas de arroz, a qual gera gás carbônico, e a estação de tratamento de esgoto, onde é gerado o gás metano.

2.1.5.3 Efluente líquido

Segundo a Norma Brasileira – NBR 9800/1987 (ABNT, 1987), o efluente líquido industrial é a água residuária originária de um estabelecimento comercial, compreendendo emanções de processo industrial, águas pluviais poluídas, águas de refrigeração poluídas e esgoto doméstico. É considerado como efluente o líquido que sai de um processo, como o líquido tratado resultante da estação de tratamento de esgoto (ETE) ou o proveniente do processo de beneficiamento de arroz. O efluente líquido é o principal tipo de efluente da indústria de beneficiamento de arroz e ele é resultado, principalmente, da etapa de encharcamento, processo que foi citado anteriormente.

2.1.6 Características das águas residuárias no processo de parboilização de arroz

No processo de parboilização, a falta de homogeneidade na distribuição da temperatura durante a etapa de encharcamento proporciona uma maior lixiviação do material orgânico do grão, em especial do amido do endosperma, o que resulta em um aumento direto da demanda bioquímica de oxigênio sobre o meio ambiente devido a alta carga orgânica (QUEIROZ; KOETZ, 1997).

Ao avaliar o efeito das condições de parboilização e autoclavagem na parboilização do arroz, conclui-se que os teores de sólidos totais e cinzas, provenientes da água de parboilização aumentam com o tempo de encharcamento, o que é explicado pela perda dos componentes do grão para a água. A transferência de sólidos solúveis para a água é baixa, de 0,3 a 0,6%, e nesses sólidos a concentração em proteína é de 7%, representando somente 0,5% das proteínas totais do grão (LEQUERICA e TORTOSA, 1977). Além disso, há uma grande concentração de compostos nitrogenados, principalmente de nitrogênio orgânico no afluente da ETE, que é o líquido industrial que ainda não foi tratado pela ETE. Isso faz com que a biomassa gerada pelo tratamento de efluente seja rica em nitrogênio e possa ser utilizada na lavoura como adubo, por exemplo (QUEIROZ; KOETZ, 1997).

O pH das águas residuárias normalmente encontra-se classificado como ácido, visto que diminui com o tempo de parboilização e há altos valores de ácidos voláteis totais, resultando num afluente com pH na faixa ácida (GUTSKOSKI; 1991).

Outro elemento presente nesse tipo de afluente é o fósforo, o qual provém dos resíduos de adubação, defensivos agrícolas e da hidrólise da fitina, substância presente nas cascas dos grãos e que durante o processo de encharcamento libera o fósforo na forma de fosfato (FARIA et. al; 2006).

Em relação ao descarte de água do processo de parboilização, o ponto crítico está na água de encharcamento onde a Demanda Bioquímica de Oxigênio é bastante alta e cerca de 54% das indústrias descarregam águas diretamente em rios e riachos (AMATO et. al.; 1989).

A Tabela 1 mostra como esses parâmetros físico-químicos estão normalmente caracterizados no efluente resultante da parboilização de arroz.

Tabela 1 - Caracterização físico-químicas do efluente de parboilização de arroz

PARÂMETRO (MG/L)	MÍNIMO	MÉDIA	MÁXIMO
Ácidos voláteis totais	120,0	672,0	1357,0
Cloretos	16,0	162,7	307,0
DBO	1600,0	3200,0	4580,0
DQO	1898,0	4536,0	7809,0
Fósforo	34,0	100,0	143,0
Nitrogênio amoniacal	9,6	35,0	74,4
Nitrogênio total	48,0	91,0	141,0
Ph	3,4	5,8	7,6
Sólidos suspensos totais	118,0	294,0	492,0
Sólidos suspensos voláteis	94,0	249,0	428,0
Sulfatos	51,0	141,0	202,0

Fonte: Faria et. al (2006).

Devido a essas características do efluente do processo de parboilização, é importante que haja um tratamento eficiente do mesmo e que se busquem melhorias nos processos industriais, visando um efluente tratado de melhor qualidade, um menor impacto ambiental e econômico.

2.1.7 Impactos ambientais

Como foi visto na Tabela 1, o efluente do processo de parboilização característico do processo de beneficiamento de arroz possui uma elevada carga orgânica e é rico em nutrientes, resultando numa taxa de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) bastante elevada. Isso ocorre devido ao contato direto da água com o grão *in natura* na etapa de encharcamento e também devido às cinzas geradas da queima da casca de arroz. Essas cinzas estão presentes no efluente, pois a água que é utilizada no processo de encharcamento é direcionada por valetas que passam embaixo dos fornos da gelatinização, a fim de retirar o excesso das cinzas.

Além dos impactos ambientais que podem ser causados pelo efluente industrial, há também riscos em relação aos resíduos provindos do

processo de parboilização, os quais são, principalmente, a casca de arroz e as cinzas da casca de arroz. Se esses subprodutos forem descartados de forma inadequada, podem ocasionar prejuízos expressivos para os recursos naturais, entre eles a grande produção de metano, um amplo volume necessário para sua disposição e a impermeabilização do solo, visto que a casca é constituída basicamente por sílica e demora muito tempo para se decompor (OCHÔA e MARTINS, 2011).

Por fim, há também o impacto causado pela emissão de gases durante o processo de parboilização (queima das cascas de arroz) e na estação de tratamento de efluente, que além de serem danosos à atmosfera, também trazem um forte odor e consequente desconforto para a vizinhança do local.

2.1.8 Processos de tratamento de efluente de arroz parboilizado

Entre as indústrias de beneficiamento de arroz há diferenças entre os processos de tratamento de efluente utilizados e os métodos e produtos químicos aplicados, de modo a visar a máxima eficiência do tratamento e a regularidade do efluente perante as legislações vigentes.

Segundo Nunes (2004), para a definição de qual tratamento é mais eficaz, entre químico e biológico, deve-se analisar a demanda química de oxigênio (DQO) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) do mesmo. Se a DQO for menor que o dobro do valor da DBO, isso indica que a maior parte da matéria orgânica é biodegradável e que o tratamento biológico é o mais apropriado. Caso contrário, provavelmente a maior parte dessa matéria orgânica não é biodegradável e o tratamento físico-químico é o mais indicado. Apesar disso, quando concebido unicamente, o sistema físico-químico remove parcialmente a carga orgânica, sendo muitas vezes necessário um tratamento complementar, objetivando a melhor eficiência possível.

Conforme relatado anteriormente, o efluente do processo de parboilização de arroz tem uma grande carga orgânica, concentração de nutrientes e sua relação entre DQO e DBO indica que o tratamento mais apropriado é o biológico. Nesse ramo de indústria, os sistemas mais utilizados são: o tratamento físico-químico, tratamento físico-químico seguido de um biológico ou somente o biológico. Dentre o biológico, o mais comum é o reator anaeróbio UASB, visto que permite uma alta carga orgânica, é compacto e econômico.

Na concepção da ETE da indústria deste trabalho, o engenheiro responsável optou por utilizar um sistema físico-químico composto por

decantação primária, coagulação, floculação, decantação secundária e terciária e filtração. Essa concepção foi escolhida pelo fato de ter uma boa eficiência, ser fácil de operar e ser economicamente mais viável para a indústria.

2.1.9 Tratamento de efluentes físico-químico

Segundo Nunes (2001), o tratamento físico-químico tem como finalidade principal a remoção de poluentes inorgânicos, matérias insolúveis, metais pesados, sólidos em suspensão e cor. A concepção básica desse tratamento por coagulação-floculação consiste em transformar em flocos, impurezas em estado coloidal, e, posteriormente, removê-las em decantadores.

Esse tipo de tratamento abrange as etapas de coagulação, floculação e sedimentação. Pelo fato de ter uma grande eficiência na remoção de material particulado, o efluente tratado por esse processo tem uma boa relação custo x benefício (METCALF & EDDY, 2003).

2.1.9.1 Coagulação

A coagulação consiste na aplicação de um coagulante (orgânico ou inorgânico) no líquido a ser tratado. Esse coagulante provoca a hidrólise, polimerização e a reação com a alcalinidade, formando, em solução, íons positivos. Estes íons desestabilizam as cargas negativas dos colóides e sólidos em suspensão, permitindo a aglomeração das partículas e a formação de flocos (NUNES, 2001).

2.1.9.2 Floculação

Após a adição do coagulante, o efluente passa por uma unidade de mistura lenta, que tem como objetivo fazer com que os coágulos, que são partículas desestabilizadas, formem partículas maiores, conhecidas como flocos. A formação dos mesmos ocorre à medida que há colisão entre as partículas. A dosagem adequada de coagulante é fundamental para que ocorra a formação de bons flocos (NUNES, 2001).

2.1.9.3 Decantação

A decantação é definida como um fenômeno físico de separação de fases (sólido-líquido), no qual os flocos formados no processo anterior movimentam-se para o fundo do decantador devido à força da gravidade,

proporcionando a clarificação do meio líquido. A fim de diminuir o tempo de detenção, reduzir o consumo de coagulantes, melhorar a qualidade da água e aumentar a velocidade de sedimentação das partículas, comumente é feita a aplicação de polímeros, os quais são utilizados como auxiliares no processo de decantação (DI BERNARDO et. al. 2002).

2.2 PRODUÇÃO MAIS LIMPA: CONCEITOS BÁSICOS SOBRE O ASSUNTO

2.2.1 Introdução a produção mais limpa (P+L)

A P+L foi um termo criado pela *United Nations Environment Programme* (UNEP) no ano de 1989, a fim de buscar uma visão inovadora de conservação de recursos e gestão ambiental. Naquela época, o principal objetivo da P+L era promover a conscientização sobre o conceito de produção e aplicá-lo nas indústrias. Desde então, ele vem sendo amplamente difundido como uma estratégia vantajosa para melhorar a eficiência industrial sem prejudicar o meio ambiente (UNEP, 2001).

A produção mais limpa pode ser vista como uma aplicação de estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e produtos e tem como princípios a busca pelo aumento de eficiência no uso de matérias primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômica (SENAI-RS, 2003).

Conforme o Senai – RS (2003), a identificação das oportunidades de aplicação da produção mais limpa possuem níveis de atuação, os quais baseiam-se nas causas de geração de resíduos, conforme mostra a Figura 5. As ações do nível I devem ser priorizadas, pois são as que atuam na prevenção da poluição, ou seja, o processo antes da geração. Já os níveis 2 e 3 devem ser implementados a medida que todas as possibilidades de primeiro nível forem garantidas.

Figura 5 - Hierarquia da produção mais limpa



Fonte: CNTL (2003).

Conforme essa hierarquia, no nível 1 a redução da fonte pode ser realizada através de modificações no produto, como o aumento de vida útil dele, novo design ou também com modificações no processo industrial. Essas incluem boas práticas operacionais, como a eliminação de desperdícios, melhor organização do ambiente interno, dentre outros. A substituição de matérias-primas (uso de matérias primas biodegradáveis, modificação de embalagens, etc.), e modificações tecnológicas (utilização de calor residual, alteração do uso de energia não renovável por renovável, etc.) também podem ser utilizadas quando se tem por objetivo modificações no processo. No nível 2 da hierarquia há a reciclagem interna, a qual é a recuperação de matérias-primas, materiais auxiliares e insumos dentro do próprio ambiente fabril. Somente quando tecnicamente não existir a possibilidade de aplicação dessas, deve-se optar por práticas do nível 3, no qual tem-se a reciclagem externa e ciclos biogênicos, onde pode ser feita a reorientação dos resíduos gerados para uso em outros processos, ou a recuperação para venda, por exemplo (CNTL, 2003).

2.2.2 Benefícios da produção mais limpa

A forte concorrência no mercado e a busca por diferenciais para agradar os clientes faz com que os administradores das empresas repensem o posicionamento estratégico, de modo a adotar processos ecologicamente corretos, socialmente adequados e economicamente viáveis.

Com a aplicação da P+L obtêm-se tanto vantagens econômicas quanto ambientais, conforme Donaire (1995) as especifica abaixo:

- Benefícios ambientais:
 - Conservação dos recursos naturais;
 - Minimização do impacto ambiental;
 - Adequação aos padrões de legislação ambiental;
 - Diminuição do volume de efluentes e resíduos;
 - Melhoria da imagem da empresa.
- Benefícios econômicos:
 - Custos reduzidos através do uso otimizado de matéria-prima;
 - Melhoria do sistema gerencial de qualidade da empresa;
 - Aumento da eficiência e maior produtividade.

2.2.3 Etapas para implementação de um programa P+L

O primeiro passo é focado no planejamento da amplitude do programa na indústria, no comprometimento gerencial e na formação de um ecotime formado pelos próprios funcionários do local, os quais serão responsáveis pela condução do programa. Na segunda etapa é realizada a pré-avaliação e o diagnóstico, onde é feito um fluxograma com os processos da empresa, dos *inputs* (matéria-prima, água, energia) e dos *outputs* (resíduos sólidos, efluentes, emissões gasosas). A avaliação da P+L ocorre na terceira etapa, onde são analisadas e identificadas as causas da geração de resíduos e os principais fatores relacionados a ela. Na quarta etapa ocorre o estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental e a quinta, e última, etapa, consiste na implantação da P+L e no monitoramento da mesma (CNTL, 2003).

3 METODOLOGIA

3.1 LOCAL DO ESTUDO DE CASO

A indústria Cereais Célia foi fundada no ano de 1957 e está localizada na cidade de Meleiro, cidade sul catarinense pertencente a uma região rica em plantações de arroz. A cidade tem uma área de 187,057 km² e sua população atual é de 7.000 habitantes (IBGE, 2017). O local tem capacidade de processamento diário de 4.000 sacas de 30 kg de arroz e tem como atividade o beneficiamento, empacotamento e distribuição de arroz parboilizado, branco, integral, mix, além de arroz para alimentação de cães. A Figura 6 representa o mapa de localização da cidade onde encontra-se a indústria.

Figura 6 - Mapa de localização da cidade onde está a indústria



Fonte: ABREU (2016)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO AFLUENTE E EFLUENTE DA ETE

Como descrito anteriormente, o afluente da ETE se caracteriza por ser o líquido que vai ser tratado pela ETE. Já o efluente da ETE é o material líquido que já recebeu o seu devido tratamento. A fim de analisar o comportamento do despejo industrial e a eficiência do tratamento do mesmo, foi realizada a análise e a caracterização do afluente e do efluente da ETE através do histórico de análises periodicamente realizadas por uma empresa terceirizada, contratada pela indústria. Para a obtenção desses dados históricos, foram solicitados tais documentos para o funcionário responsável por essa área na indústria.

A partir desses dados, foram montadas tabelas e gráficos contendo a identificação dos parâmetros do afluente e efluente, seus valores e a verificação se eles estão dentro dos parâmetros estabelecidos pela Lei Estadual de Santa Catarina nº 14.675/2009 (SANTA CATARINA, 2009) e Resolução Conama nº 430/2011 (CONAMA, 2011). Os parâmetros analisados do efluente da ETE foram os seguintes:

3.2.1 pH

Conforme Nunes (2001), o pH indica a concentração de íons H^+ nas águas residuárias, a qual varia de 0 a 7 na escala logarítmica. Quanto maior for a concentração de H^+ , mais ácido será o efluente e menor será seu valor na escala.

3.2.2 DQO – Demanda química de oxigênio

A DQO corresponde a quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica. É indispensável na caracterização dos efluentes, visto que ela avalia a quantidade de oxigênio dissolvido consumido, que leva a degradação da matéria orgânica. Ela expressa o grau de poluição da água, pois reflete a concentração de componentes oxidáveis (NUNES, 2001).

3.2.3 DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

A DBO representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria biologicamente. Juntamente com a DQO, a DBO é um parâmetro fundamental para a caracterização do efluente e no dimensionamento de estações de tratamento, principalmente biológicos. Ela serve como parâmetro de avaliação da biodegradabilidade da matéria orgânica num ambiente aeróbio (NUNES, 2001).

3.2.4 SST – Sólidos Suspensos Totais

Os STT constituem todas as substâncias que após filtração e secagem, permaneçam retidas na membrana (fibra de vidro com porosidade 1,2 μm) (SABESP, 1999).

3.2.5 ST – Sólidos Totais

Os ST correspondem as substâncias que permanecem na cápsula após a total secagem de um volume de amostra, sejam na forma dissolvida, coloidal ou em suspensão. Esse parâmetro indica a presença de sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos nas águas (SABESP, 1999).

3.2.6 SS – Sólidos Sedimentáveis

Os SS constituem todas as substâncias existentes em 1 litro de amostra que sedimente por ação da gravidade, através da utilização do Cone Imhoff (SABESP, 1999).

3.2.7 P – Fósforo

O fósforo está presente no efluente de parboilização de arroz devido aos resíduos de adubação dos grãos. Quando associado à disponibilidade de nutrientes nitrogenados, estimula o crescimento de microrganismos, causando a eutrofização (FARIA et. al; 2006).

3.2.8 N – Nitrogênio

O nitrogênio é outro parâmetro importante para a caracterização do efluente, pois sua presença favorece o crescimento de microrganismos responsáveis pela degradação biológica, como a eutrofização (FARIA et. al; 2006).

Para a análise e caracterização do afluente da ETE foram considerados apenas os parâmetros de pH, DBO e DQO, pois foram esses os parâmetros analisados pelo laboratório terceirizado.

3.3 IDENTIFICAÇÃO DE LIMITAÇÕES E ASPECTOS POSITIVOS DA ETE E DO PROCESSO INDUSTRIAL

A fim de propor medidas que poderão ser adotadas na indústria, de modo a visar o melhoramento da eficiência da ETE e diminuição de impactos ambientais e econômicos, foram realizadas investigações *in-loco* na indústria e na estação de tratamento de esgoto, além de entrevistas com funcionários do local. Através de informações verbais e escritas sobre os acontecimentos/mudanças que ocorreram na ETE, da análise visual dos

processos no local e de pesquisa bibliográfica sobre os processos de parboilização de arroz e o tratamento de seus efluentes, foi gerado um diagnóstico descritivo sobre quais processos da indústria podem ser aprimorados e quais estão em bom funcionamento.

3.4 PRINCÍPIOS DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Os princípios da P+L foram utilizados nos processos da indústria, a fim de sugerir medidas que promovam um menor impacto ambiental, a diminuição de custos operacionais, além da otimização e melhoria de eficiência da ETE.

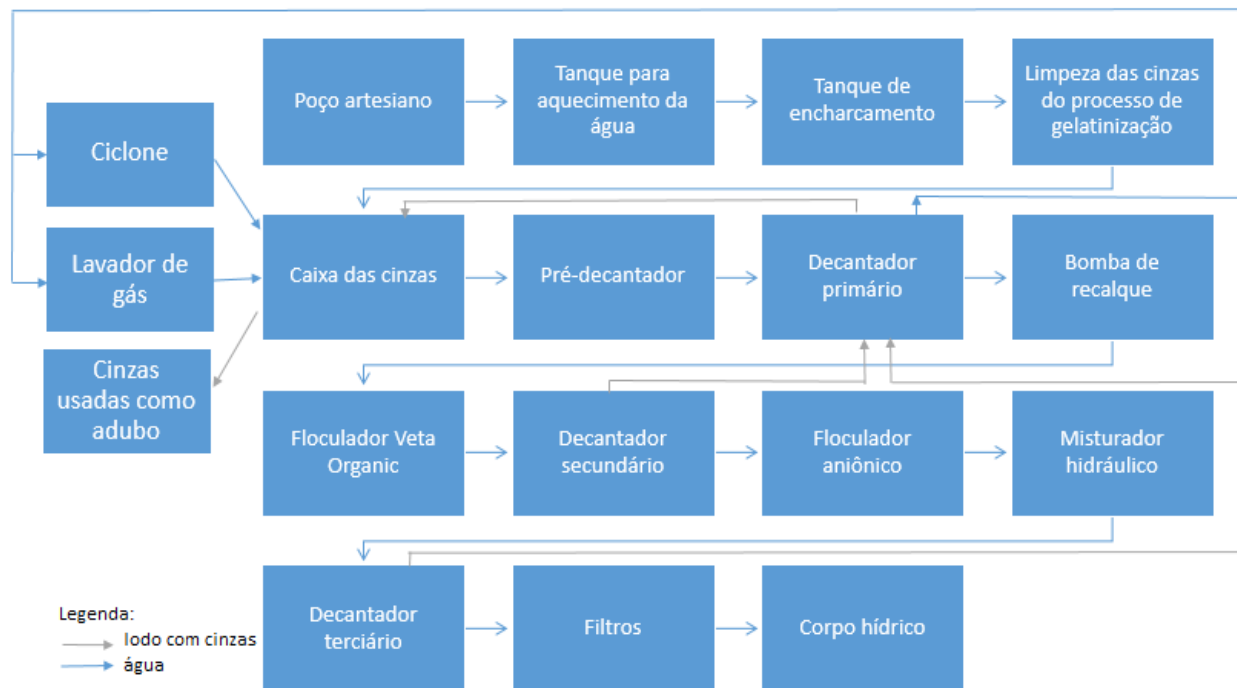
Como um dos objetivos específicos deste estudo é identificar oportunidades para a implantação dos princípios da P+L na indústria e não a aplicação da mesma, a primeira etapa para aplicação da P+L, que consiste na criação de um ecotime no local não foi aplicada. Ao invés disso, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre a produção de arroz parboilizado e produção mais limpa, além de entrevistas com os funcionários responsáveis por esses processos na indústria. Na segunda etapa foi criado um fluxograma dos processos da indústria em que a água é utilizada, além da identificação dos *inputs* e *outputs* do processo de parboilização. Por fim, a terceira e a quarta etapa foram realizadas de maneira conjunta, onde foram identificados os processos que causam a geração dos resíduos (sólidos, líquidos e gasosos) e a identificação das oportunidades na indústria para a implantação dos princípios da P+L. Tais princípios foram baseados na busca pelo aumento de eficiência no uso de matérias primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, promovendo benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômica (SENAI-RS, 2003).

Essa parte do estudo resultou num relatório informativo a respeito de alternativas que podem ser integradas no processo industrial e na ETE, com indicativos dos benefícios que tais medidas podem gerar para a empresa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, para o melhor entendimento sobre os processos de parboilização de arroz em que a água é utilizada e também como parte da segunda etapa para identificação dos princípios da P+L que podem ser implantados, foi feito o fluxograma da água da indústria deste estudo, mostrando também o que é feito com o lodo com cinzas, como pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma da água



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

4.1 FLUXO DA ÁGUA

4.1.1 Poço artesiano

A água utilizada para o processo industrial é proveniente de 4 poços artesianos e é armazenada em um reservatório no próprio terreno da indústria.

4.1.2 Tanque para aquecimento da água

Nessa etapa a água é aquecida em tanques, como mostra a Figura 8, através da queima das cascas de arroz e sua temperatura varia entre 65 a 75°C.

Figura 8 - Tanque de aquecimento da água



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

4.1.3 Tanque de encharcamento

Para essa etapa há 8 tanques com capacidade de 13.000 litros de água cada. O tempo de detenção é de 7 horas e a temperatura da água varia entre 65 a 75°C, de acordo com o tipo de arroz.

4.1.4 Limpeza das cinzas

A água que é utilizada no processo de encharcamento é direcionada através de valetas que passam embaixo dos fornos de gelatinização, a fim de retirar o excesso das cinzas. Nessa etapa a água residuária passa a ter a presença de partículas de cinzas de casca de arroz.

4.1.5 Caixa das cinzas

A água proveniente das etapas anteriores é bombeada para essa caixa das cinzas. Dentro dela a água passa por uma tubulação com micro furos, os quais atuam como filtros. No total, a caixa das cinzas possui 4 filtros. Dessa forma, grande parte das cinzas são retidas nesse local. As partículas de cinzas são sedimentadas e coletadas todos os dias por um caminhão, o qual doa esse material para parceiros da empresa para ser utilizado como adubo. Na Figura 9 é possível visualizar a caixa de cinzas e o caminhão retirando as mesmas.

Figura 9 - Caixa de cinzas



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

4.1.6 Pré-Decantação

A água resultante da caixa de cinzas é então direcionada para o pré-decantador com chicanas, como mostra a Figura 10. Essa unidade possui 10 câmaras interligadas ora por cima, ora por baixo do nível da

água. Ele tem como principal função realizar a pré-decantação das partículas providas dos processos anteriores. As cinzas que são sedimentadas nesse processo são retiradas uma vez por semana e são direcionadas para a caixa de cinzas.

Figura 10 – Pré-decantador



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

4.1.7 Decantação primária

A vazão recebida nessa etapa varia em torno de 8 a 10 m³/h. A medição da mesma é feita através da leitura do horímetro da bomba junto com o tempo de trabalho calculado. Essa etapa apresenta picos de vazão que ocorrem devido ao processo de enchimento, no qual os tanques funcionam em bateladas e no final de cada ciclo a água é descartada. Assim, ela só recebe o excedente do efluente proveniente da pré-decantação. A primeira parte da ETE (lado direito da Figura 11) é um sistema de chicanas, o qual antigamente auxiliava na mistura do efluente com um neutralizador. Posteriormente, foi verificado que a água residuária que chega na ETE possui um pH compatível com o coagulante utilizado e que, portanto, não é mais necessário utilizar um neutralizador. Atualmente, essas câmaras com chicanas são utilizadas para a sedimentação das partículas, principalmente das cinzas. A retirada do lodo gerado nesse processo ocorre uma vez por semana e o mesmo é direcionado para a caixa de cinzas.

De maneira paralela ao tratamento de efluentes, é realizado também o tratamento de emissões gasosas utilizando parte da água do decantador primário para os dois ciclones e o lavador de gás.

Figura 11 - Decantação primária



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

4.1.8 Ciclone

A indústria possui dois ciclones, conforme mostra a Figura 12, os quais são projetados para a separação de materiais particulados maiores do fluxo de ar através da combinação de forças centrífugas, inerciais e gravitacionais. As partículas que vão para o fundo dos ciclones são retiradas com a água provinda do decantador primário e vão para a caixa de cinzas.

Figura 12 - Ciclones



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

4.1.9 Lavador de gás

A água proveniente do decantador primário também é utilizada no lavador de gás, o qual é uma unidade de controle de poluição do ar, cujo objetivo é a remoção do material particulado de um fluxo de gás, através da colisão dessas partículas com gotas de água. Posteriormente, essa água é direcionada para a caixa de cinzas. Essa unidade de tratamento de gás pode ser vista na Figura 13.

Figura 13 - Lavador de gás



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

4.1.10 Coagulação

No final do decantador primário há uma bomba elétrica que faz o recalque do efluente até o topo do decantador secundário. Durante esse percurso o efluente recebe a adição do coagulante *Veta Organic*, o qual é aplicado por um dosador mecânico com uma concentração de 11,9%. Esse coagulante possui as características de deixar a água e o lodo livres de resíduos químicos indesejáveis, ser um produto não corrosivo, formador de flocos maiores e mais estruturados, além de possuir baixa toxicidade pelo fato de ser de origem orgânica. As soluções são preparadas por um funcionário da empresa dentro de tanques com capacidade de 1.000 litros, conforme mostra a Figura 14.

Figura 14 - Tanques de soluções com coagulantes



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

4.1.11 Floculação, decantação secundária e terciária

O efluente que foi recalcado chega no topo do decantador secundário (esquerda da Figura 15). Nesse local é adicionado mecanicamente o polímero floculador aniônico de alto peso molecular, o qual auxilia no processo de decantação. Logo em seguida, o efluente passa por um misturador hidráulico com chicanas, a fim de misturar o polímero adicionado na água residuária (Figura 16). Na outra metade da borda ocorre a floculação com mistura lenta, proporcionando a formação de flocos maiores (Figura 17).

Os decantadores têm como função promover um ambiente propício para a floculação e sedimentação dos sólidos presentes no efluente, além de facilitar a retirada de lodo. Elas trabalham em sequência e somente o efluente sobrenadante do primeiro passa para o segundo. Todo o lodo gerado é direcionado por tubulação até o decantador primário que, posteriormente, vai para a caixa de cinzas.

Figura 15 – Decantadores secundário e terciário



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Figura 16 - Misturador hidráulico



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Figura 17 - Flocculação



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

4.1.12 Filtros

Após a passagem pelos dois decantadores, o efluente do último é coletado por uma calha na parte superior e é direcionado para os filtros, onde ocorre o polimento final. Há duas seções com dois filtros descendente cada. Eles funcionam sob pressão e em sequência, possuem camadas de brita, areia e carvão ativado e a limpeza dos mesmos é feita a cada 4 horas. Tais filtros são mostrados na Figura 18.

Figura 18 - Filtros



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

4.1.13 Corpo hídrico

Após a etapa de filtragem, o efluente é direcionado para uma caixa de alvenaria enterrada no chão, a qual está conectada a uma tubulação subterrânea. O efluente transpassa todo o terreno da indústria até desaguar em um pequeno valo, que corre por cerca de 4 quilômetros entre canchas de arroz antes de ser lançado no rio Manoel Alves. Na Figura 19 mostra o local dessa caixa de alvenaria onde está a tubulação e na Figura 20 mostra a aparência do efluente da ETE.

Figura 19 - Caixa de concreto com tubulação subterrânea



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Figura 20 - Efluente final



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO AFLUENTE E EFLUENTE DA ETE

Conforme relatado anteriormente, para a caracterização do afluente e efluente da ETE, foi analisado o histórico de análises de qualidade de água residual da indústria. Por motivos de falha de comunicação entre a indústria e a empresa responsável pelas análises, não houve o arquivamento das análises desde o início do tratamento de efluentes, e o mesmo começou a ocorrer somente a partir do final de 2016. Além disso, a indústria tinha maior interesse nas análises do efluente, fazendo com que tenha poucas análises do afluente. Essa falta de documentação e poucas análises do afluente da ETE prejudicaram um pouco para a completa caracterização, visto que foi por um período curto e com poucas amostras.

4.2.1 Afluente da ETE

Para a análise do afluente da ETE os resultados dos parâmetros foram comparados com os que são exigidos pela Lei Estadual de Santa Catarina nº 14.675/2009 (SANTA CATARINA, 2009).

- pH

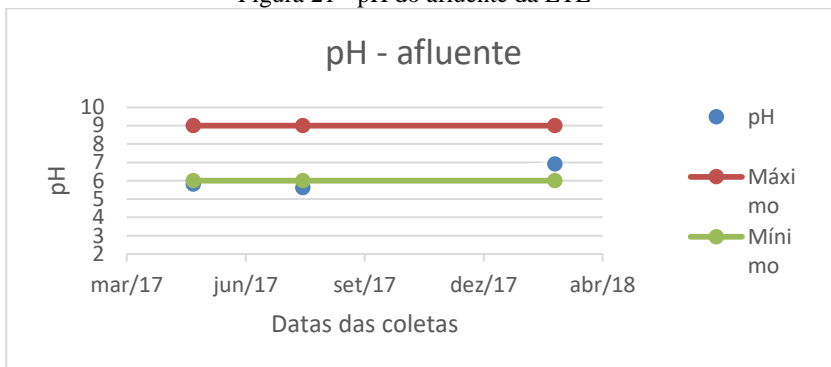
Como pode ser visto na Tabela 2 e na Figura 21, o pH encontrado nas análises do afluente encontra-se abaixo do mínimo permitido por lei, que é 6, nas duas primeiras análises e se encontra dentro dos valores aceitáveis na última análise, ficando entre 6 e 9.

Tabela 2 - pH do afluente da ETE

DATA DA COLETA	VALOR COLETADO	VALOR MÍ- NIMO	VALOR MÁXIMO
MAI/17	5,80	6,00	9,00
AGO/17	5,61	6,00	9,00
MAR/18	6,90	6,00	9,00

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 21 - pH do afluente da ETE



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

- DBO

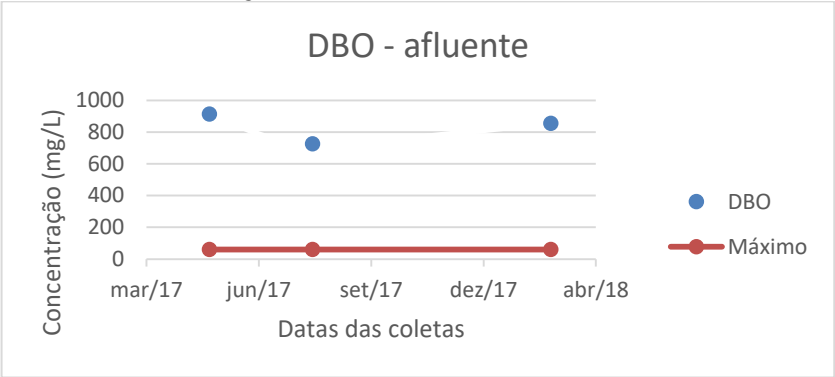
Como fica evidente na Tabela 3 e na Figura 22, os valores de DBO encontrados estão acima do permitido pela Lei Estadual de Santa Catarina nº 14.675/2009 (SANTA CATARINA, 2009), que é de 60 mg/L. Apesar disso, as concentrações de DBO desse afluente da ETE ainda são bem inferiores se comparadas com as concentrações comumente encontradas no efluente do processo de parboilização de arroz, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 3 - DBO do afluente da ETE

DATA DA COLETA	VALOR COLETADO (MG/L)	VALOR MÁXIMO
MAI/17	913,09	60,00 mg/L
AGO/17	724,92	60,00 mg/L
MAR/18	854,50	60,00 mg/L

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 22 - DBO do afluente da ETE



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

- DQO

Como pode ser visto na Tabela 4 e na Figura 23, os valores da DQO variaram entre 1280 e 1959 mg/L. Apesar de não ter um valor máximo estabelecido na legislação, se comparado com os valores de DQO comumente encontrados em efluente resultante de processos de parboilização de arroz da Tabela 1, percebe-se que esses valores também se encontram abaixo do valor mínimo esperado.

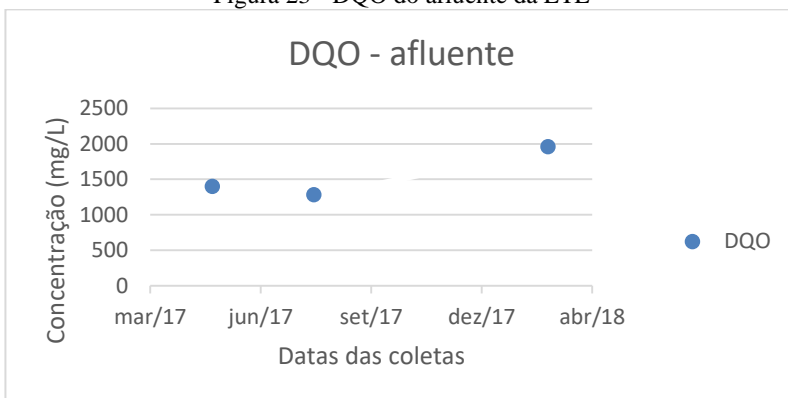
Tabela 4 - DQO do afluente da ETE

DATA DA COLETA	VALOR COLE- TADO (MG/L)	VALOR MÁ- XIMO (MG/L)
MAI/17	1400,00	N.E*
AGO/17	1280,00	N.E*
MAR/18	1959,00	N.E*

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

*N.E: Não estabelecido pela legislação

Figura 23 - DQO do afluente da ETE



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Diante desses resultados, a fim de verificar o porquê dos valores de DBO e DQO estarem bastante abaixo do que é comumente esperado para esse tipo de efluente industrial, foi realizada outra visita à empresa. Através de uma conversa com o responsável pela ETE da indústria foi concluído que o afluente da ETE possui essas características, pois ocorre uma diluição no processo. Além do efluente provindo do processo de parboilização, a ETE também recebe toda a água utilizada na indústria para fins de limpeza e outras eventuais necessidades. Isso faz com que a concentração de carga orgânica no afluente da ETE diminua bastante, resultando numa DBO e DQO inferior à de um provindo somente do processo de parboilização.

4.2.2 Efluente da ETE

Para a caracterização do efluente da ETE foram realizadas as análises de água residual a partir do final de 2016 feitas pela empresa terceirizada responsável pelas coletas. Os parâmetros analisados foram comparados com os exigidos pela Lei Estadual de Santa Catarina nº 14.675/2009 (SANTA CATARINA, 2009) e Resolução Conama nº 430/2011 (CONAMA, 2011).

- pH

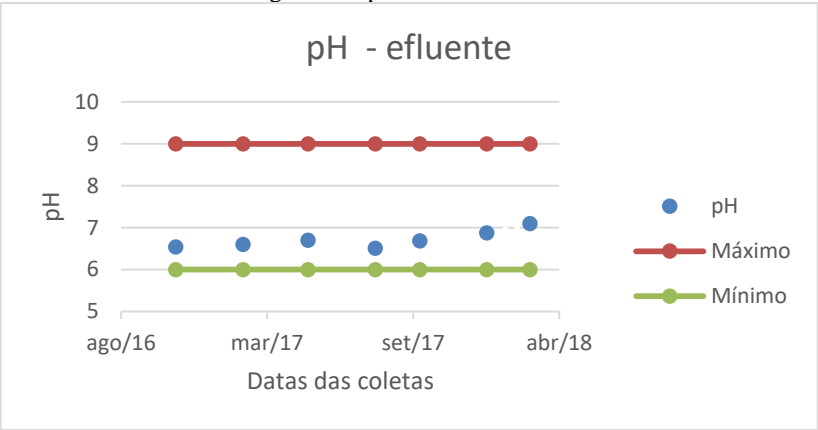
Como pode ser visto na Tabela 5 e na Figura 24, o pH do efluente encontra-se dentro dos padrões estabelecidos pelas legislações vigentes, ficando com uma média de pH de 6,71.

Tabela 5 - pH efluente da ETE

DATA DA COLETA	VALOR COLETADO	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
NOV/16	6,54	6,00	9,00
FEV/17	6,60	6,00	9,00
MAI/17	6,70	6,00	9,00
AGO/17	6,51	6,00	9,00
OUT/17	6,69	6,00	9,00
JAN/18	6,88	6,00	9,00
MAR/18	7,10	6,00	9,00

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 24 - pH efluente da ETE



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

- Sólidos sedimentáveis

Conforme pode ser visto na Tabela 6 e Figura 25, a taxa de sólidos sedimentáveis apresentou valores menores ou iguais a 0,1 mL/L/h, o que faz com que ele esteja dentro dos parâmetros regulamentados pela legislação ambiental vigente.

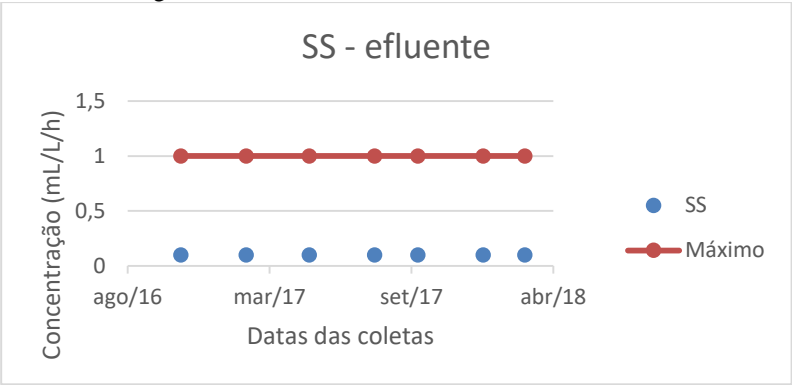
Tabela 6 - Sólidos sedimentáveis efluente da ETE

DATA DA CO- LETA	VALOR COLETADO (ML/L/H)	VALOR MÁXIMO (ML/L/H)
---------------------	----------------------------	-----------------------------

NOV/16	0,1	1,0
FEV/17	0,1	1,0
MAI/17	0,1	1,0
AGO/17	0,1	1,0
OUT/17	0,1	1,0
JAN/18	0,1	1,0
MAR/18	0,1	1,0

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 25 - Sólidos sedimentáveis efluente da ETE



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

- Sólidos totais

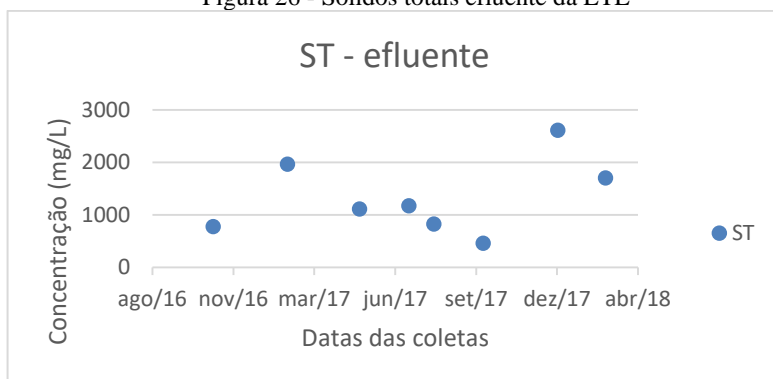
Atualmente não há na legislação nenhum limite referente ao parâmetro de sólido total. Como mostra a Tabela 7 e a Figura 26, o efluente se caracteriza por uma média de 1326,25 mg/L e possui picos de concentrações no verão, chegando a 2610 mg/L.

Tabela 7 - Sólidos totais efluente da ETE

DATA DA COLETA	VALOR COLETADO (MG/L)
NOV/16	774,00
FEV/17	1962,00
MAI/17	1110,00
JUL/17	1172,00
AGO/17	826,00
OUT/17	456,00
JAN/18	2610,00
MAR/18	1700,00

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 26 - Sólidos totais efluente da ETE



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

- Sólidos suspensos totais

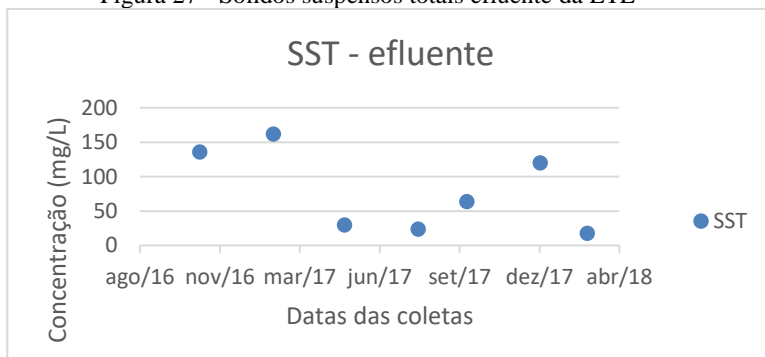
Assim como nos sólidos totais, também não há limites nas legislações a respeito dos sólidos suspensos totais. Através da Tabela 8 e Figura 27, percebe-se que há picos de concentrações nos meses finais de cada ano, sendo que o maior deles ocorreu no mês de fevereiro de 2017, atingindo 162 mg/L.

Tabela 8 - Sólidos suspensos totais efluente da ETE

DATA DA COLETA	VALOR COLETADO (MG/L)
NOV/16	136,00
FEV/17	162,00
MAI/17	30,00
AGO/17	24,00
OUT/17	64,00
JAN/18	120,00
MAR/18	18,00

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 27 - Sólidos suspensos totais efluente da ETE



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

- Nitrogênio amoniacal

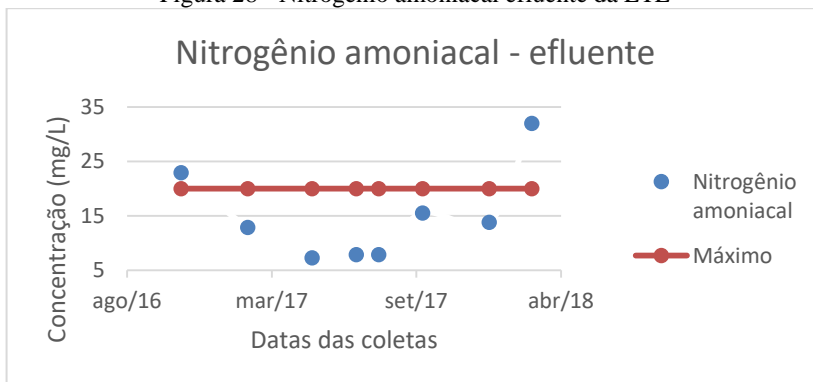
De acordo com a Resolução Conama nº 430/2011 (CONAMA, 2011), o limite máximo para o nitrogênio amoniacal é de 20 mg/L. Como pode ser visto na Tabela 9 e na Figura 28, no final de 2016 a concentração estava um pouco acima do permitido com 22,96 mg/L, posteriormente os níveis baixaram consideravelmente, mas na última análise constatou-se uma concentração bem mais elevada, de 32,02 mg/L, o que é acima do permitido.

Tabela 9 - Nitrogênio amoniacal efluente da ETE

DATA DA COLETA	VALOR COLETADO (MG/L)	VALOR MÁXIMO (MG/L)
NOV/16	22,96	20,00
FEV/17	12,88	20,00
MAI/17	7,28	20,00
JUL/17	7,84	20,00
AGO/17	7,84	20,00
OUT/17	15,54	20,00
JAN/18	13,83	20,00
MAR/18	32,02	20,00

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 28 - Nitrogênio amoniacal efluente da ETE



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

- Fósforo total

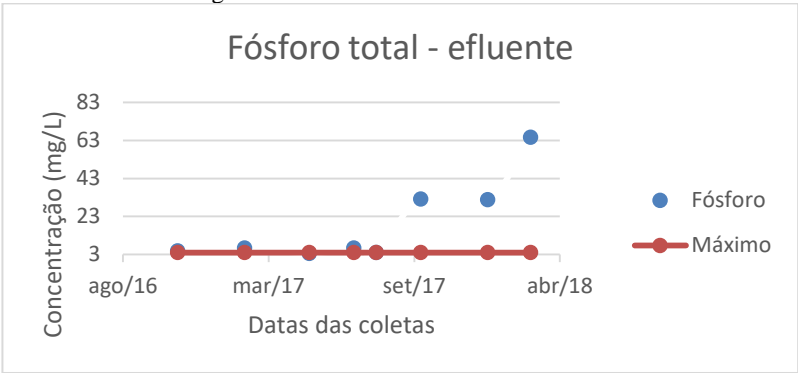
De acordo com a Lei Estadual de Santa Catarina nº 14.675/2009 (SANTA CATARINA, 2009), o limite máximo para concentração de fósforo no lançamento de um efluente é de 4 mg/L. Como pode ser visto no histórico de análises na Tabela 10, com exceção do mês de maio, as outras coletas possuíram uma concentração acima do permitido por Lei. Além disso, como mostra a Tabela 10 e a Figura 29, as concentrações de fósforo nos últimos três meses de coleta obtiveram uma concentração bem mais elevada.

Tabela 10 - Fósforo total efluente da ETE

DATA DA COLETA	VALOR COLETADO (MG/L)	VALOR MÁXIMO (MG/L)
NOV/16	4,91	4,00
FEV/17	6,36	4,00
MAI/17	3,49	4,00
JUL/17	6,36	4,00
AGO/17	4,01	4,00
OUT/17	32,10	4,00
JAN/18	31,82	4,00
MAR/18	64,59	4,00

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 29 - Fósforo total efluente da ETE



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

- Demanda química de oxigênio

Não há nenhum valor limitante na legislação a respeito da DQO. Como pode ser visto na Tabela 11 e na Figura 30, os valores de DQO normalmente apresentam um comportamento regular, porém apresentaram dois picos de concentrações, sendo o maior deles de 740 mg/L em outubro de 2017.

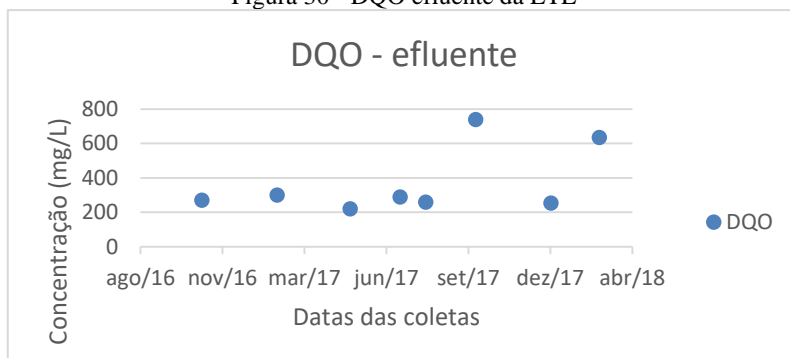
Tabela 11 - DQO efluente da ETE

DATA DA COLETA	VALOR COLETADO (MG/L)
----------------	--------------------------

NOV/16	270,00
FEV/17	300,00
MAI/17	220,00
JUL/17	290,00
AGO/17	260,00
OUT/17	740,00
JAN/18	255,00
MAR/18	635,00

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 30 - DQO efluente da ETE



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

- Demanda bioquímica de oxigênio

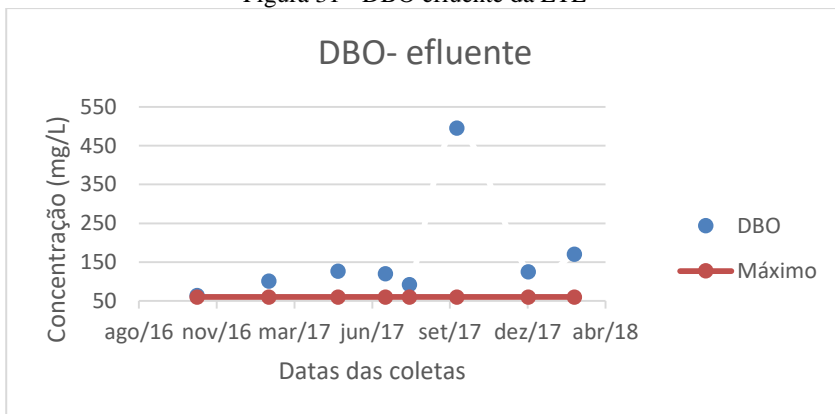
De acordo com a Lei Estadual de Santa Catarina nº 14.675/2009 (SANTA CATARINA, 2009), o limite da concentração de DBO no efluente é de 60 mg/L. Caso esse valor seja ultrapassado, o tratamento tem que reduzir a carga poluidora em, no mínimo, 80%. Como pode-se observar na Tabela 12 e na Figura 31, as concentrações de DBO são bem superiores a esse limite.

Tabela 12 - DBO efluente da ETE

DATA DA COLETA	VALOR COLETADO (MG/L)	VALOR MÁXIMO (MG/L)
NOV/16	63,66	60,00
FEV/17	101,36	60,00
MAI/17	126,93	60,00
JUL/17	120,00	60,00
AGO/17	92,33	60,00
OUT/17	495,80	60,00
JAN/18	124,60	60,00
MAR/18	174,20	60,00

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 31 - DBO efluente da ETE



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Dessa forma, para estar dentro da Lei, a ETE tem que ter uma eficiência mínima de remoção de 80%. Como a indústria de parboilização passou a realizar as análises do afluente da ETE com maior frequência a pouco tempo, há apenas três análises do mesmo. Para os resultados serem condizentes, foi realizado o cálculo de eficiência utilizando os três dias de coletas que foram pegas amostras do afluente e efluente da ETE.

Cálculo da eficiência de remoção:

$$E (\%) = \frac{C_e - C_s}{C_e} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

Ce = concentrações na entrada em mg/L (afluente)

Cs = concentrações na saída em mg/L (efluente)

E = eficiência de remoção (%)

Como pode ser visto na Tabela 13, as eficiências de remoção dos meses de maio e agosto de 2017 são superiores a 80%, porém, na última análise realizada a eficiência total foi de 79,61%, o que não cumpre com o que é exigido pela legislação.

Tabela 13 - Eficiência de remoção DBO

DATA DA CO- LETA	VALOR AFLU- ENTE (MG/L)	VALOR EFLU- ENTE (MG/L)	EFICIÊNCIA (%)
MAI/17	913,09	126,93	86,10
AGO/17	724,92	92,33	87,26
MAR/18	854,50	174,20	79,61

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

4.3 ASPECTOS POSITIVOS E LIMITAÇÕES

4.3.1 Aspectos positivos

Através da visita *in-loco* e de conversas com os funcionários da indústria, foi possível identificar que a mesma privilegia a reutilização de materiais, como a água, as cascas e as cinzas de arroz resultantes do processo de parboilização, além de também ter controle sobre as emissões gasosas.

No que diz respeito ao efluente líquido, como mostrado na Figura 7, a água utilizada no início do processo de parboilização, que é o encharcamento, é reutilizada para a limpeza das cinzas providas da gelatinização. Além disso, a água necessária para a limpeza das partículas dos ciclones e do lavador de gás vem do decantador primário. Esse reuso da água nos próprios processos internos da indústria faz com que resulte numa menor quantidade de efluente resultante da ETE e, consequentemente, num menor impacto ambiental e econômico para a indústria.

Em relação aos principais resíduos sólidos provenientes do processo industrial, os quais são as cascas e as cinzas de arroz, há também

uma reintrodução dos mesmos no ciclo. As cascas de arroz, que correspondem a um grande volume resultante do processo, são queimadas e utilizadas como fonte de energia térmica para o aquecimento da água e para a fornalha, e o restante delas é doado para ser usado como cama de aviário. Já as cinzas resultantes dessa combustão são carregadas pela água de lavagem, a qual recebe o tratamento físico-químico. O lodo gerado pela sedimentação desse tratamento é direcionado para a caixa de cinzas, a qual retém as partículas de cinzas e as destina para a agricultura para serem utilizadas como adubo, visto que são ricas em nutrientes.

Outro processo importante realizado pela indústria é o controle da poluição dos gases gerados na queima das cascas dos grãos de arroz. Para isso, é feito o uso de dois equipamentos ciclone e de um lavador de gás, os quais funcionam como filtros e evitam que os materiais particulados vão para a atmosfera.

4.3.2 Limitações

Através das visitas *in-loco* e entrevistas com os funcionários da indústria foi possível identificar as principais limitações do local. Para melhor entendimento, as análises foram divididas entre resíduos sólidos, efluente líquido e gasoso.

Em relação aos resíduos sólidos, como retratado anteriormente, os principais resíduos são as cascas de arroz e as cinzas das cascas resultantes da combustão. Toda a cinza gerada é doada para os agricultores para utilização como forma de adubo. Já as cascas de arroz, pelo fato de não serem completamente utilizadas nas caldeiras e sobrar cerca de 2 ton/dia de casca durante o período da safra (fevereiro, março, abril e maio), quando tem maior umidade, e 4 toneladas no período fora da safra, elas são doadas para os clientes para serem utilizadas como cama de aviário. Visto que a casca de arroz tem cerca de 16,33 MJ/kg, o que é considerado um alto poder calorífico (TASHIMA et al., 2011), e as cinzas são ricas em sílica e possuem outras boas características para o seu reuso, ambos resíduos sólidos poderiam ser utilizados de maneira mais nobre e proveitosa, de modo a produzir um menor impacto ambiental e gerar um benefício econômico para a empresa.

Em relação ao efluente gasoso, o principal problema é o odor proveniente das grandes concentrações de matéria orgânica presentes no lodo gerado no processo de sedimentação, visto que causam um desconforto para os funcionários da indústria e principalmente para a vizinhança.

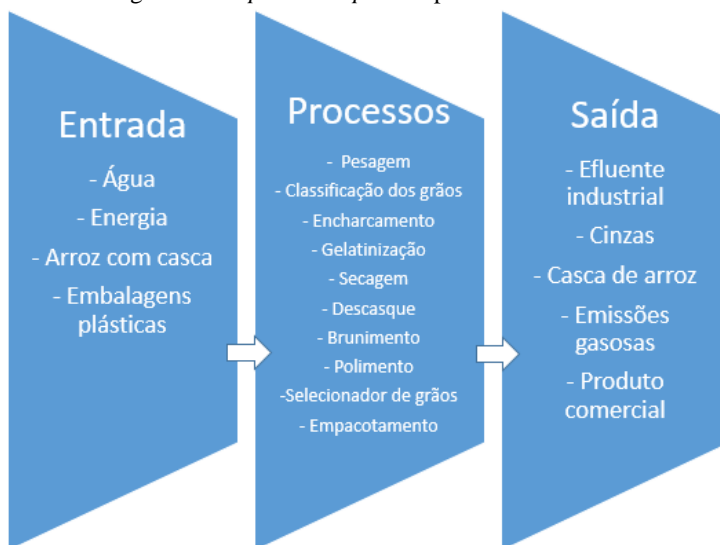
Por fim, em relação ao efluente líquido, como foi mostrado no tópico anterior, uma das limitações é a falta de dados do afluente da ETE,

visto que as análises não foram feitas na mesma periodicidade do efluente. Isso faz com que haja uma limitação na caracterização do afluente, principalmente em relação à eficiência de remoção da estação de tratamento, visto que para isso são necessárias as análises do mesmo dia do afluente e do efluente da estação de tratamento de esgoto. Além disso, há um difícil controle sobre a concentração de DBO, o que faz com que haja variações consideráveis nas amostras, dificuldade de controle sobre a concentração de fósforo, visto que é um problema bastante recorrente como foi retratado anteriormente, e sobre a concentração de nitrogênio, o qual antigamente estava dentro das concentrações permitidas por lei, mas que na última amostra apresentou uma elevada concentração.

4.4 OPORTUNIDADES PARA MELHORIAS E IMPLANTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA P+L

Como parte da segunda etapa para o processo de identificação de oportunidades para implantação da P+L, foi feito um esquema, conforme mostra a Figura 32, que representa os insumos necessários para a parboilização do arroz, os processos realizados pela indústria e os principais produtos dos mesmos.

Figura 32 - *Inputs e Outputs* do processo industrial



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Como parte da terceira e quarta etapa para a identificação de oportunidades de melhorias que podem ser aplicadas com base nos princípios da P+L, foram identificados como são produzidos esses *outputs* e o que pode ser aplicado nesses processos, visando uma harmonização ambiental, econômica e social.

4.4.1 Emissões gasosas

Como pode ser visto na Figura 32, um dos *outputs* do processo de parboilização de arroz é a emissão de gases, os quais são resultantes do processo combustão das cascas de arroz e da sedimentação da matéria orgânica durante o tratamento de efluentes.

Para as emissões providas da combustão, há o tratamento de gases através de ciclones e do lavador de gás, como já foi descrito anteriormente. Já para o mau odor provindo da estação de tratamento de esgoto, ainda não há nenhum tratamento. Com base nos princípios da P+L de redução de emissões, eficiência do uso de energia, benefícios ambiental e de saúde ocupacional, foram sugeridas as seguintes alternativas:

-Biofiltro: a biofiltração vem sendo utilizada para conter os odores provenientes de águas residuais, compostagens e outras operações que produzem odor (ADLER, 2001). Ela é usada para controlar odores, poluentes atmosféricos, orgânicos e inorgânicos, assim como compostos orgânicos voláteis provindos de fontes industriais (LESON; WINER, 2012).

O biofiltro faz com que os compostos químicos na fase gasosa se transformem em produtos possíveis de degradação biológica, como dióxido de carbono, água e sais inorgânicos (ADLER, 2001). Ele é composto por leitos de material biologicamente ativo, principalmente com base em misturas de composto, solo e turfa (LESON; WINER, 2012).

De acordo com Adler (2001), a desodorização ocorre quando o gás contaminado passa através de um pré-condicionador para retirada de partículas e umidificação, se necessário. Após isso, ele é direcionado para o inferior do leito, o qual fornece uma superfície para a fixação e crescimento de microrganismos. Assim que absorvidos na camada de água em torno do biofilme, os contaminantes estão disponíveis para os microrganismos como fonte de alimento para estimular o crescimento microbiano. O ar que é livre, ou quase livre de contaminantes, é então exaurido do biofiltro.

Dentre as principais vantagens do biofiltro, encontram-se o baixo custo de operação e implantação, a não geração de efluentes e a alta efi-

ciência de retirada de compostos. Já nos pontos desfavoráveis estão a durabilidade temporária do meio filtrante, a dificuldade de controle de umidade e pH e a possível colmatação no meio filtrante (DEVINNY et. al., 1999).

- Aproveitamento do biogás: como o metano é um dos gases gerados durante o processo de tratamento de efluentes e ele corresponde a cerca 50 a 75% do biogás (ROSS et. al, 1996), é interessante que seja feito um cálculo sobre o potencial de metano e biogás que pode ser gerado na ETE, a fim de avaliar se a quantidade produzida pode ser aproveitada pela indústria como alguma fonte de energia.

Para estimar a quantidade de metano produzida no tratamento de efluentes, foi suposto o tratamento do afluente da ETE através do uso de um reator UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*). Esse reator faz com que o afluente entre no fundo e através do movimento ascendente, ele atravesse uma camada de lodo biológico, sofrendo uma degradação anaeróbia. Na parte superior do reator há um defletor que separa o biogás formado da fração líquida-sólida. Esse biogás pode ser coletado e ser utilizado como fonte parcial de energia na indústria. Para tal estimativa foi utilizada a Equação 2, a qual leva em consideração a produção de sólidos no meio e permite o ajuste das condições de temperatura e pressão em um ambiente anaeróbio, conforme descrito por Metcalf & Eddy (2003).

$$DQO_{CH_4} = Q_{méd} * [(S_o - S) - Y * S_o] \quad \text{Equação 2}$$

Sendo:

DQO_{CH_4} : Carga de DQO removida convertida em metano (kgDQO/dia);

$Q_{méd}$: Vazão média do sistema (m^3/dia);

S_o : DQO afluente (kgDQO/ m^3);

S : DQO efluente, considerando 65% de remoção (kgDQO/ m^3);

Y : Coeficiente de produção de sólidos no sistema em termos de DQO, indicado de 0,11 a 0,23 kgSSV/kgDQO aplicada (utilizou-se 0,17 kgSSV/kgDQO).

Considerando que a vazão média do sistema é de 240 m^3/dia e que o DQO médio do afluente é de 1,54 kg/ m^3 , obteve-se 178,14 kgDQO/dia.

Pelo fato de ser um gás, é necessário normalizar o cálculo para as condições normais de temperatura e pressão (CNTP), através da Equação 3 e Equação 4.

$$Q_{CH_4} = DQO_{CH_4} / f(T) \quad \text{Equação 3}$$

$$f(T) = P * K_{DQO} / R * T$$

Equação 4

Onde:

Q_{CH_4} : Produção volumétrica de metano (m^3/dia);

$f(T)$: Fator de correção de temperatura e de conversão massa/volume ($kgDQO/m^3$);

P: Pressão atmosférica (1 atm);

K_{DQO} : DQO equivalente a 1 mol de metano (64 gDQO/mol);

R: Constante dos gases (0,08206 atm/mol.K);

T: temperatura média do afluente ($273 + T$) (K).

Considerando que a temperatura média do afluente é de 34,2°C, obteve-se uma produção volumétrica de metano de 70,17 m^3/d . Além disso, ao considerar que a proporção de metano no biogás é de 65%, resultou numa vazão média de biogás de 107,95 m^3/d ou 4,49 m^3/h .

Como foi obtido um valor considerável de biogás, há a possibilidade da implantação de um reator UASB, caso a indústria queira tratar o efluente e ainda aproveitar o biogás gerado durante o tratamento. Essa opção traz vantagens para a indústria como a produção da própria energia para consumo e economia financeira em relação à energia provida da concessionária. Um exemplo de aproveitamento do biogás na indústria é na geração para a energia elétrica necessária para o funcionamento da ETE. Isso é possível, pois considerando que a ETE utiliza em média 4105 kwh durante um mês, equivalendo a 5,70 kwh a cada hora, e que 1 kwh de eletricidade corresponde a um consumo médio de 0,62 m^3/h de biogás (DIAS et al., 2013), com 4,49 m^3/h de biogás é possível gerar 7,25 kwh a cada hora, o que é mais que o utilizado para o funcionamento da ETE.

4.4.2 Efluente líquido

Como foi mostrado na Figura 32, um dos *outputs* do processo de parboilização é o efluente rico em resíduos orgânicos e ele é um dos principais subprodutos da indústria devido ao seu grande volume e possível dano ao meio ambiente.

Os parâmetros do efluente que apresentaram algum tipo de irregularidades perante a Lei Estadual de Santa Catarina nº 14.675/2009 (SANTA CATARINA, 2009) e a Resolução Conama nº 430/2011 (CONAMA, 2011) foram o fósforo, o nitrogênio amoniacal e a DBO. Visto que a indústria possui área disponível para construção, além de aproveitar o tratamento de efluente já existente e dar prioridade para um tratamento

natural, sem a adição de compostos químicos, foi sugerida a alternativa de um pós-tratamento com um sistema de lagoas de estabilização.

O tratamento de águas residuárias por lagoas de estabilização é uma tecnologia consolidada pelo fato de ter baixo custo de implantação, alta eficiência de remoção, simplicidade construtiva e de fácil manutenção. Esse tratamento consiste em reservatórios de pequena profundidade, construídos em diques de terra e fundo impermeabilizado (CAMPOS, 1999). Há diversos tipos de lagoas de estabilização, as quais podem ser utilizadas em conjunto como pós tratamento, a fim de melhorar a qualidade final do efluente tratado.

Considerando as necessidades de remoção da ETE da indústria, foi sugerido um pós-tratamento de efluentes com um sistema de lagoas de estabilização composto por lagoa aerada facultativa seguido de uma lagoa de polimento.

- Lagoa aerada facultativa seguida de lagoa de polimento: a lagoa facultativa se caracteriza por ter uma região aeróbia na superfície, uma região facultativa no meio e outra anaeróbia no fundo. Após a entrada do efluente na lagoa, a matéria orgânica em suspensão começa a se sedimentar, formando o lodo de fundo. Esse sofre tratamento anaeróbio na zona anaeróbia da lagoa. Já a matéria orgânica dissolvida e a em suspensão de pequenas dimensões permanecem dispersas na massa líquida. Essas sofrem tratamento aeróbio nas zonas mais superficiais da lagoa (zona aeróbia). Na lagoa aerada facultativa, o oxigênio necessário na zona aeróbia é fornecido por equipamentos de aeração, a fim de suprir as necessidades dos microrganismos degradadores de matéria orgânica. Além disso, elas se caracterizam por serem mais profundas, exigirem uma menor área e a formação e separação dos flocos ocorrem na própria lagoa. Dentre as vantagens dessa lagoa, estão: remoção da matéria carbonácea e de nutrientes, baixos custos de construção, redução de odores e áreas menores que as outras lagoas. Já como desvantagens estão o alto consumo de energia elétrica, além da operação e manutenção da lagoa ser mais complexa. Nessa lagoa irá ocorrer principalmente a remoção de DBO, DQO e parte dos nutrientes. As eficiências de remoção desse tipo de lagoa são de 80 a 90% de SST, de 65 a 80% de DQO e de 50 a 95% de DBO (VON SPERLING, 2002).

A lagoa de polimento, como o próprio nome já diz, tem como finalidade polir o efluente antes dele ser lançado no corpo receptor. Ela possui uma profundidade reduzida, fazendo com que a penetração de luz solar na massa líquida seja facilitada e a atividade fotossintética e bacteriológica seja acentuada. O principal objetivo desse tipo de lagoa é a re-

remoção de organismos patogênicos e de nutrientes. Como o esgoto sanitário da indústria é tratado separadamente, a principal atividade dessa lagoa será a remoção de nitrogênio e fósforo, os quais são os nutrientes que se encontram em excesso nesse efluente industrial. As principais vantagens da aplicação da lagoa de polimento é a alta eficiência de remoção de nutrientes, principalmente de nitrogênio, a não geração de mau odor e a simplicidade de funcionamento. Já como desvantagem, encontra-se a necessidade de uma maior área para sua implantação (VON SPERLING, 2002).

4.4.2.1 Fósforo

Pelo fato do fósforo estar presente no efluente industrial com uma concentração muito superior do que o permitido pela legislação, é possível que o sistema de lagoas de estabilização utilizados como pós-tratamento não seja suficiente para remover todo o fósforo necessário. Caso isso ocorra, as sugestões para o seu tratamento são as seguintes:

- Lagoa de lemnas: é uma configuração de lagoa de estabilização caracterizada pela cobertura da superfície do efluente por uma macrófita flutuante. Ela é normalmente utilizada como tratamento terciário para remoção de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, sob baixa carga orgânica. Esse tipo de lagoa tem como principais benefícios o baixo custo de operação e manutenção, a remoção de nutrientes sem custo energético com aeração, a geração quase nula de lodo e a geração de uma biomassa passível de valorização, como na composição de alimentos para animais, devido ao seu alto teor de proteína. Dentre as desvantagens dessa lagoa está a necessidade de grandes áreas, o manejo diário de remoção de biomassa e a necessidade de profissionais especializados. As lemnas são umas das macrófitas mais utilizadas nesse processo pelo fato de terem alto potencial para o uso da biomassa, terem alta taxa de crescimento, reterem gases que provocam mau odor e terem facilidade no manejo da biomassa. Esse tipo de lagoa consegue atingir uma eficiência de remoção fósforo e nitrogênio acima de 90% (TONON, 2016).

- Precipitação química: segundo Nunes (2001), a remoção de fósforo no tratamento físico-químico pode ocorrer por meio de osmose reversa, eletrodíálise e precipitação química, sendo essa última a mais utilizada. A precipitação química é quando ocorre a precipitação de fósforo através do aumento do pH. Para que isso ocorra, pode ser utilizado o sulfato de alumínio, o cloreto férrico ou a cal, porém a melhor eficiência ocorre com a combinação de cloreto férrico e cal ou somente sulfato de alumínio, atingindo eficiência de 95%. Caso utilizado apenas o cloreto férrico pode-se atingir uma eficiência de 90%, já se empregado apenas a

cal, a eficiência é bastante baixa, em torno de 50% num pH de 11. Apesar de ser uma alternativa bastante comum para a remoção de fósforo, a adição desses compostos químicos fará com que o lodo gerado não tenha a mesma qualidade de antes, podendo comprometer a sua utilização como adubo, por exemplo.

4.4.2.2 Reuso

Visto que um dos princípios da produção mais limpa busca pela redução da geração de efluentes e o consumo eficiente da água, de modo a buscar benefícios econômicos e principalmente ambientais, foram sugeridas as seguintes alternativas para a indústria:

- Reuso do efluente industrial: o aproveitamento do efluente industrial é uma alternativa para diminuir o consumo de água limpa e potável em locais que não são necessários tamanha qualidade da água. Exemplos de possíveis locais para o reuso do efluente são nas descargas de vasos sanitários das áreas administrativas da indústria, onde sugere-se que o efluente tenha uma turbidez inferior à 10 NTU, ou até mesmo na lavagem de calçadas e pisos, mas para essa última alternativa é necessária a presença de cloro residual superior à 0,5 mg/L e uma turbidez inferior à 5 NTU (FERNANDES, 2016).

- Captação e uso de água pluvial: o aproveitamento da água da chuva auxilia na preservação de recursos hídricos além de melhorar a imagem da indústria perante seus clientes. Pelo fato do local ter uma grande área coberta com telhados, a captação de chuva coletada através deles é outra alternativa que pode ser aplicada, visando a diminuição do consumo de água potável consumida. Essa água pluvial coletada pode ser utilizada para irrigação dos jardins, descargas de banheiro ou até mesmo para situações emergenciais, como para prevenção de incêndios (GROUP RAINDROPS, 1995).

4.4.3 Resíduos sólidos

Como mostrado na Figura 32, os dois principais e mais volumosos resíduos provenientes do processo de parboilização de arroz são as cascas de arroz e as cinzas das cascas de arroz. Com base nessa informação e utilizando os princípios da P+L de buscar pela reciclagem/reutilização de resíduos, pelos benefícios ambientais e econômicos e pela eficiência do uso de energia e de matérias-primas, foram sugeridas as seguintes alternativas para esses resíduos:

4.4.3.1 Casca de arroz

A casca de arroz é um resíduo agroindustrial do processo de parboilização de arroz. Pelo fato de levar muito tempo para se decompor e possuir uma densidade baixa, resultando num grande volume, é necessário um cuidado maior para a sua destinação final para diminuir os possíveis impactos ambientais (OCHOA; MARTINS, 2011).

Como relatado anteriormente, a indústria utiliza parte da casca de arroz para o aquecimento das fornalhas e o restante é doado para os clientes e agricultores da região. É interessante que ocorra o aproveitamento total desse recurso internamente na indústria, pois além de amenizar problemas ambientais, pode gerar uma economia para a indústria, através da utilização das cascas para geração de energia térmica, o que já é realizado pela indústria, e da geração de energia elétrica.

Segundo Lhamby, Senna e Canes (2010), a utilização das cascas de arroz para a geração de energia contribui de forma efetiva para mitigar os impactos gerados ao meio ambiente e promover a imagem da indústria, através de ações ambientalmente corretas. Além disso, auxilia também na redução de custos de produção, devido a geração de energia elétrica.

De acordo com Foletto (2005), o uso de cascas de arroz para a geração de energia é uma opção praticável sob o ponto de vista tecnológico, viável do ponto de vista econômico e ética do ponto de vista ambiental, visto que existe tecnologia para tal, a matéria-prima é abundante e todo CO₂ produzido na queima volta para o ciclo de carbono da biosfera terrestre.

Dentre as vantagens em adotar essa ação, encontram-se a redução dos custos com energia elétrica, a destinação eficiente para as cascas de arroz, a diminuição do grande volume de resíduos gerados e a redução da dependência energética da concessionária (LHAMBY; SENNA; CANES, 2010).

Dentre as principais formas de aproveitamento energético para a casca de arroz, a combustão é atualmente uma das mais utilizadas pelo fato de ser economicamente viável (MAYER; HOFFMANN; RUPPENTHAL, 2006).

De acordo com Mayer, Hoffmann e Ruppenthal (2006), a queima controlada da casca de arroz pode ser utilizada na secagem do arroz, através da utilização de gases quentes ou na produção de vapor para depois ser utilizado na secagem do arroz. Além dessa utilização, o vapor gerado pode ser usado para a geração de eletricidade, com tecnologia padrão de geração termelétrica, resumida na combustão ou queima das cascas de arroz, geração da energia térmica que se transforma em forma de vapor,

turbinagem do vapor, que faz a transformação em energia mecânica, e por fim, o gerador, que faz a transformação em energia elétrica para ser utilizada ou transmitida na rede de distribuição.

Dessa forma, a utilização de cascas de arroz como combustível substitui a geração de eletricidade provinda de combustíveis fósseis, além de diminuir as emissões de compostos poluentes, como dióxido de carbono, e dessa forma, mitiga a emissão de gases do efeito estufa. Essa quantificação de emissões evitada pode se tornar mercadoria e ser negociada como Créditos por Redução de Emissões, permitindo a compra desse volume de redução de emissões por outros países, conforme estabelecido pelo protocolo de Kyoto, e dessa forma, aumentando a rentabilidade da indústria, a qual pode chegar até 30% de incremento na viabilidade dos empreendimentos termelétricos ocasionada pela entrada dos créditos de carbono (MAYER; HOFFMANN; RUPPENTHAL, 2006).

Visto que a indústria desse estudo consome uma grande quantidade de energia elétrica, sendo 4105 kwh/mês só na estação de tratamento de esgoto, a geração de energia elétrica seria bastante vantajosa ambiental e economicamente. Porém, em uma das entrevistas realizadas com os funcionários da indústria, foi retratado o conhecimento dessa tecnologia, mas ela não é aplicada devido ao volume de cascas de arroz não ser suficiente para a geração de energia de forma individual. Diante disso, uma alternativa viável é a criação de uma sociedade com as indústrias de parboilização de arroz da região, para que com a união das sobras de cascas de arroz de cada indústria obtenha-se um volume suficiente para a geração de energia elétrica, e dessa forma, todas sejam beneficiadas econômica e ambientalmente.

4.4.3.2 Cinza de casca de arroz

A queima da casca de arroz, seja para fornecer energia térmica ou elétrica, resulta em um considerável volume de cinza de casca de arroz (CCA), o qual corresponde cerca de 18% do peso da casca, segundo Foletto et. al (2005). Esse resíduo, caso não receba uma destinação ambientalmente correta, pode trazer sérios danos ao meio ambiente, visto que a cinza gerada na combustão apresenta uma certa quantidade de carbono residual, que é um grave poluente para o solo. Com base nas características desse resíduo produzido, foram sugeridas as seguintes alternativas para o seu uso:

- Aproveitamento da sílica: segundo Foletto et. al (2005), pelo fato da cinza conter um alto teor de sílica (>92%), ela se torna um produto valorizado. Dessa forma, seria um desperdício de matéria-prima jogá-la

fora visto que pode ser utilizada em diversos ramos industriais. Com isso, a indústria de parboilização de arroz pode ter, além de ganhos econômicos, ganhos ambientais, tornando o processo de parboilização de arroz um ciclo fechado de reaproveitamento de resíduos e de novas fontes de renda. O processo de combustão controlado das cascas de arroz resulta na sílica amorfa, a qual pode ser comercializada na construção civil (concreto, fibrocimento, argamassa) e na indústria de artefatos de borracha (EVA, epóxi, termoplásticos).

- Avaliação do uso de CCA para adsorção física e química: de acordo com Zaro e Moraes (2017), a adsorção ocorre quando uma molécula de soluto, presente na solução, acumula-se na superfície de um sólido devido à ação de forças de superfícies não balanceadas. A capacidade de adsorção está diretamente ligada à superfície total do adsorvente, pois quanto maior a superfície, mais efetiva será a adsorção. Esse processo pode ocorrer de duas formas: físico ou químico. Na adsorção química as moléculas ou átomos se unem na superfície do adsorvente através de ligações químicas e tendem a se acomodar em locais que propiciem o número de coordenação máximo com o substrato. Na adsorção física ocorre interações de van der Waals entre as moléculas e o adsorvente. Essas interações são de longo alcance, porém são fracas. Os adsorventes são utilizados a fim de auxiliar na remoção cor, odor, sabor, dentre outros aspectos do efluente. Atualmente o adsorvente mais utilizado é o carvão ativado, devido à sua alta área superficial (MOREIRA, 2010). Porém, devido ao grande volume de CCA produzida no processo de parboilização de arroz, esse material vem sendo estudado como uma alternativa de adsorvente por diversos profissionais. Segundo Zaro e Moraes (2017), há pesquisas que utilizaram o CCA como adsorvente de substâncias e os resultados foram bastante promissores quando comparados com os proveenientes do carvão ativado. Diante disso, visto que há um grande volume de CCA produzido diariamente na indústria e atualmente há problemas relativos ao mau odor gerado no local, uma alternativa para a indústria é a avaliação do uso desse adsorvente para o tratamento de odor. Dessa forma, além da possibilidade de a indústria tratar o mau cheiro do local, ela também estará utilizando um resíduo que atualmente não é utilizado de maneira a promover algum benefício para ela.

4.4.3.3 Embalagem do produto comercial

Segundo o MMA (2015), atualmente um terço do lixo doméstico é composto por embalagens, sendo que 80% delas são utilizadas apenas uma só vez. Como nem todos os locais há a separação de resíduos sólidos,

a maior parte desse volume vai para os aterros sanitários, ajudando a superlotar esses locais e aumentar a procura por novas áreas para a disposição final do resíduo. Além disso, o descarte dessas embalagens, os quais são a maioria plásticas, levam cerca de 400 anos para se decompor, o que provoca grandes problemas ambientais.

Diante dessa problemática e com base no princípio da P+L de visar benefícios ambientais, uma alternativa para as atuais embalagens plásticas de arroz é a substituição das mesmas por materiais com matérias-primas de fonte renovável. Um exemplo disso é o etanol produzido através da cana-de-açúcar. A vantagem é que além de fornecer as mesmas características de um plástico comum, ela agrega valor ao produto comercializado e gera diferenciais para a empresa, e ao final de sua vida útil, as embalagens podem ser reutilizadas, recicladas ou até mesmo enviadas para sistemas de reciclagem energética e gerar emissão neutra de carbono, visto que o CO₂ liberado veio originalmente da atmosfera e será novamente capturado pela cana-de-açúcar na próxima safra (SANTOS, 2009).

4.4.3.4 Lodo

De acordo com Prosab (1999), a definição da melhor opção da disposição final do lodo depende das suas características físico-químicas e microbiológicas, como a quantidade de matéria-orgânica, de nutrientes e metais pesados. Dentre as alternativas para disposição final do esgoto, destacam-se os aterros sanitários, a disposição na superfície, a disposição oceânica, a incineração e reciclagem agrícola. Visto que este trabalho tem como um dos objetivos a busca por oportunidades de aplicação da P+L na indústria, a alternativa mais adequada para esse caso é a busca pela reciclagem do uso desse lodo gerado.

O lodo gerado nos decantadores do tratamento de efluentes da indústria poderá continuar a ser utilizado como adubo na agricultura, visto que as alternativas sugeridas neste trabalho não mudarão as características da biomassa geradas nessas etapas do processo. Tal etapa já é realizada pela indústria através do uso da caixa de cinzas, a qual tem como objetivo a retirada da umidade do lodo e a posterior destinação para agricultura dos sólidos retidos.

Para remoção do lodo gerado nas lagoas de estabilização há opções manuais ou mecânicas, as quais ainda podem variar entre ser necessária a desativação da lagoa para a remoção ou de realizar a remoção do lodo com a lagoa em funcionamento. Para todas as opções há vantagens e desvantagens e caberá a indústria a decisão de qual alternativa é a mais viável (PROSAB, 1999).

Após a remoção do lodo, ocorre a desidratação do mesmo, onde a umidade pode ser retirada através de processos mecânicos (centrífugas, prensas desaguadoras, filtros prensa ou desidratação térmica) ou naturais (lagoas de lodo e leitos de secagem) (PROSAB, 1999).

Em processos com esgoto sanitário, normalmente ocorre a higienização do lodo gerado, a fim de retirar os organismos patogênicos presentes. Porém, como o esgoto sanitário gerado nas áreas administrativas da indústria é tratado separadamente, não há a necessidade dessa etapa, visto que é um processo industrial que não possui tais microrganismos patogênicos.

Por fim, há a destinação final do lodo gerado. Visto que a biomassa gerada possui nutrientes, como o nitrogênio, e que foi priorizado um tratamento natural do efluente, o mesmo poderá continuar sendo utilizado na agricultura como forma de adubo.

Porém, caso a indústria necessite de um tratamento especial para retirada de fósforo e ela opte pela opção de precipitação química, a qualidade do lodo gerado nesse processo será afetada, visto que terá a presença de metais. Caso isso ocorra, deverá ser feita uma análise da qualidade do lodo para verificar a possibilidade da utilização na agricultura e se não for possível, a destinação final do mesmo poderá ser o aterro sanitário.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos neste presente estudo foi possível avaliar as características do afluente e do efluente da ETE, avaliar os aspectos positivos e propor adequações nas limitações da ETE e do processo industrial, além de identificar oportunidades para a implantação dos princípios da P+L na indústria de parboilização de arroz.

Em relação à avaliação das características do afluente e do efluente da ETE, foi identificada a necessidade de tratamento do afluente, além de irregularidades nas concentrações de fósforo, nitrogênio e DBO.

Sobre os aspectos positivos identificados na indústria foi visto que ela privilegia a reutilização de materiais, como o reuso da água nos processos industriais, a utilização das cascas de arroz resultantes como fonte de energia térmica para o aquecimento das fornalhas e a doação das cinzas de arroz resultantes do processo de parboilização como adubo na agricultura, além de também ter controle sobre as emissões gasosas provenientes da combustão das cascas de arroz. A respeito das limitações na indústria, foi identificado que pelo fato da parboilização de arroz gerar um grande volume de cascas e cinzas de arroz, esses resíduos sólidos poderiam ter uma destinação mais nobre, que gerassem benefícios econômicos e ambientais para a indústria, visto que a casca de arroz possui um alto poder calorífico e as cinzas são ricas em sílica, além de serem um potencial adsorvente. Além disso, também foi identificado um forte odor proveniente das grandes concentrações de matéria orgânica presentes no lodo gerado no processo de decantação. Ainda, outra limitação encontrada foi a falta de dados sobre o afluente da ETE, visto que as análises não foram feitas na mesma periodicidade que o efluente da ETE. Por fim, há concentrações de fósforo, nitrogênio e DBO superiores às que são estabelecidas em lei.

Por fim, as propostas de adequações e de oportunidades para a implantação da P+L foram:

- Uso da casca de arroz para geração de energia elétrica;
- Comercialização da sílica amorfa;
- Avaliação da adsorção das cinzas para controle do odor ou utilização do biofiltro para o controle do mesmo;
- Possibilidade de aproveitamento do biogás, caso seja implantado um reator UASB;
- Implantação de um pós-tratamento composto por lagoa aerada facultativa seguida de lagoa de polimento;
- Remoção do fósforo com uma lagoa de lemnas ou precipitação química;

- Destinação do lodo para agricultura ou aterro sanitário;
- Substituição da embalagem por uma com matéria-prima renovável;
- Reuso do efluente industrial em descargas sanitárias ou lavagens de calçadas;
- Captação e utilização de água de chuva.

6 REFERÊNCIAS

ABIAP. **O que diferencia o arroz branco do arroz parboilizado?** 2013. Disponível em: <http://www.abiap.com.br/site-pt/content/informativos/detalhe.php?informativo_id=94>>. Acesso em: 03 set. 2017.

ADLER, STEPHEN F. **Biofiltration** - a Primer. Environmental Protection. Dallas, p. 33-41. abr. 2001.

AMATO G.W.; BITTENCOURT, D.M.; GUINDANI, A.C. **Parboilização do arroz parâmetros de encharcamento**. Porto Alegre: CI-ENTEC. Boletim Técnico. v.19. 1989. 102p.

AMATO, G. W., ELIAS, M. C. **Parboilização do arroz**. Porto Alegre: Editora: Ricardo Lenz Ziede, p. 160, 2005.

AMATO, G. W.; CARVALHO, J. L. V.; SILVEIRA, F. S. **Arroz parboilizado: tecnologia limpa, produto nobre**. Porto Alegre: Editora Ricardo Lenz, 2002. 240p.

AMATO, Gilberto W. **Arroz parboilizado e macerado: diferenças e semelhanças**. Planeta Arroz. 05 set. 2008.

AMATO, Gilberto W. **Tipos de arroz**. 2007. Disponível em: <http://www.sindarroz-sc.com.br/default.php?pg=conteudo_2010&area=Beneficiamento>. Acesso em: 30 set. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800**: Critérios para lançamento de efluente líquido industrial no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 6, de 16 de fevereiro de 2009**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 fev. 2009, Seção 1, p. 3.

CAMPOS, J.R. (Coord). 1999. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES. Projeto PROSAB.

CNTL - CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS SENAI (Porto Alegre). **Implementação de programas de produção mais limpa**. 2003.

CNTL. **Implementação de Programas de Produção Mais Limpa**, 2003. Disponível em: <[http:// www.ifm.org.br/modle/file.php/19/CNTL_guia_P_L.pdf](http://www.ifm.org.br/modle/file.php/19/CNTL_guia_P_L.pdf)>. Acesso em: 30 set. 2017.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **A cultura do arroz**. Brasília, 2015. 182 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_03_01_16_56_00_a_cultura_do_arroz_-_conab.pdf>. Acesso em: 30 set. 2017.

CONAMA. Resolução nº 3, de 22 de agosto de 1990. **Resolução Conama Nº 3, de 28 de Junho de 1990**: Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.

CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Resolução Conama Nº 430, de 13 de Maio de 2001**: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 2011.

CUNHA, JOSE C. C., et al. **Relatório do projeto de pesquisa “aproveitamento energético da casca de arroz”**. Porto Alegre: CIENTEC – FINEP, 1986. 170p.

DEVINNY, J.S., DESHUSSES, M.A., WEBSTER, T.S. **Biofiltration for air pollution control**. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 299p. 1999

DIAS, Maria Isabel Alencar et al. **Viabilidade econômica do uso do biogás proveniente da suinocultura, em substituição a fontes externas de energia**. Energia na Agricultura, Botucatu, v. 28, n. 3, p.115-164, set. 2013.

DI BERNARDO, L.; Di BERNARDO A.; CENTURIONE, P.L.F. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: RiMa, 2002.

DONAIRE, Denis. **Gestão ambiental na empresa**. São Paulo: Atlas, 1995. 134p.

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina: **Histórico da Produção de Arroz Irrigado**. 2006. Disponível em: <http://www.epagri.sc.gov.br/?page_id=1343>. Acesso em: 30 set. 2017.

FARIA, Osvaldo Luís Vieira et al. **Remoção de fósforo de efluente da parboilização de arroz por absorção biológica estimulada em reator de batelada sequencial**. Campinas, maio 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v26n2/30178.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

FERNANDES, Vera Maria Cartana. **Padrões para reuso de águas residuárias em ambientes urbanos**. Passo Fundo. p. 1 - 17. Disponível em: <<http://cbhpf.upf.br/phocadownload/2seminario/padroesreusoaguaii.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

FLANDRIN, J. L.; MONTANARI, M. (Dir.). **História da alimentação**. São Paulo: Estação Liberdade, 1998.

FOLETTTO, Edson Luiz et al. **Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz**. Quim. Nova, Santa Maria, v. 28, n. 6, p.1055-1060, 29 mar. 2005.

GROUP RAINDROPS. **Rainwater & You: 100 ways to use rainwater**. Tokyo: Organizing Committee for the Tokyo International Rainwater Utilization Conference, 176p, 1995.

GUTKOSKI, C.L. **Efeitos das condições de maceração e de autoclavagem na qualidade industrial e comercial dos grãos de arroz (Oryza sativa L) parboilizado**. UFPel. Curso de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, 1991. (Tese de Mestrado).

IBGE. **Infográficos: dados gerais de municípios**. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=421080>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

LESON, Gero; WINER, Arthur M. **Biofiltration: An Innovative Air Pollution Control Technology For VOC Emissions**. Air & Waste Management Association. California, p. 1045-1054. mar. 2012.

LEQUERICA, J.L. & TORTOSA, E. **Sancochado de aroces cultivados em España.** Rev.de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, v.1Z, n.1, p.42-57, 1977.

LHAMBY, Andressa Rocha; SENNA, Ana Júlia Teixeira; CANES, Suzy Elizabeth. **A prática da gestão ambiental agroindustrial: um estudo de caso em uma agroindústria que produz energia elétrica a partir da casca do arroz.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 1. 2010, Bauru, 2010. p. 1 – 5.

LOPES, L.F.; KOETZ, P.R. & SANTOS, M.S. **Desnitrificação no topo de reator UASB, de efluentes da indústria de arroz parboilizado.** In: Oficina e Seminário Latino-americano de Digestão Anaeróbia, VI, 2000, Recife. Recife: UFPE, 2001, p. 5-9.

MAYER, Flávio Dias; HOFFMANN, Ronaldo; RUPPENTHAL, Janis E. **Gestão Energética, Econômica e Ambiental do Resíduo Casca de Arroz em Pequenas e Médias Agroindústrias de Arroz.** In: SIMPEP, 13. 2006, Bauru. Bauru: 2006. p. 1 - 11.

MEDEIROS, Marlon Clovis. **Industrialização e Agricultura: o complexo agroindustrial do arroz de Santa Catarina.** Cascavel: Edu-
nioeste, 2006.

MELLO, Maria Celina de Abreu; NASCIMENTO, Luiz Felipe. **Produção Mais Limpa: um impulso para a inovação e a obtenção de vantagens competitivas.** In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2002, Curitiba. ENEGEP - 23-25 out. 2002.

MENEGAZ, Rosdaéli Ceconello et al. **Remoção Físico-química de Fósforo por Floco-sedimentação Aplicada ao Pós-tratamento de Efluente de Abatedouro Avícola.** Ciências Exatas e Naturais, Guarapava, v. 13, n. 2, p.227-255, 23 fev. 2012.

METCALF & EDDY, 2003. **Wastewater engineering:** Treatment and reuse. 4, 2003.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Impacto das embalagens no meio ambiente.** 2015. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/res->

ponsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/impacto-das-embalagens-no-meio-ambiente>. Acesso em: 7 maio 2018.

MOREIRA, Danna Rodrigues. **Desenvolvimento de adsorventes naturais para tratamento de efluentes de galvanoplastia**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://tede2.pucrs.br/tede2/bitstream/tede/3158/1/424194.PDF>>. Acesso em: 6 maio 2018.

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. Sergipe: Triunfo, 2001.

OCHÔA, Ana Lúcia da Silva; MARTINS, Geomar. **Perspectiva do aproveitamento da casca de arroz como fonte de combustível em fornalhas para secagem dos grãos**. 2011. 26 f. Monografia (Especialização) - Curso de Eficiência Energética Aplicada Aos Processos Produtivos, Universidade Federal de Santa Maria, Panambi, 2011.

OLIVEIRA NETO, Geraldo Cardoso de et al. **Princípios e ferramentas da produção mais limpa: um estudo exploratório em empresas brasileiras**. Gestão & Produção, [s.l.], v. 22, n. 2, p.326-344, jun. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v22n2/0104-530X-gp-22-2-326.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

PEREIRA, J. A. **Cultura do arroz no Brasil: subsídios para a sua história**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002.

PIVELI, Roque Passos. Composto de nitrogênio e fósforo nas águas. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. 2012. p. 2-22.

PROSAB. **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas**. Espírito Santo, 1999. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/gerenciamento_lodo_de_lagoas.pdf>. Acesso em: 1 maio 2018.

QUEIROZ, Maria; KOETZ, Paulo R. **Caracterização do Efluente da Parboilização do Arroz**. Revista Brasileira de Agrociência, v.3, no3, 139-143, Set.-Dez. 1997.

ROSS, C. C.; Drake, T. J.; Walsh, J. L. **Handbook of biogas utilization**. 2.ed. Atlanta: U.S. Department of Energy, 1996. 2p.

SABESP. **NTS 13: Norma Interna Sabesp nº 13**. São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/nts013.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

SAIDELLES, Ana Paula Fleig et al. **Gestão de resíduos sólidos na indústria de parboilização de arroz**. Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria, v. 5, n. 5, p.904-916, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/4314/2820>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

SANTA CATARINA (Estado). Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009. **Lei Nº 14.675, de 13 de Abril de 2009**: Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. Florianópolis, 2009.

SANTOS, Antônio. Biopolietileno baseado no etanol. **Polímeros**, São Carlos, v. 19, n. 2, p. E6, Junho 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282009000200004&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 7 maio 2018.

SENAI - RS. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa**. Porto Alegre, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAIRS/UNIDO/INEP, 2003. 46 p.

SOSBAI – Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz Irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. XXX Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado, 06 a 08 de agosto de 2014, Bento Gonçalves, RS, Brasil. Santa Maria, 2014. 192p.

TASHIMA, Mauro Mitsuchi et al. **Reaproveitamento da cinza de casca de arroz na construção civil**. Holos Environment, v. 11, n. 1, p.81-89, 28 nov. 2011.

TONON, Gustavo. **Avaliação de lagoas de lemnas para o polimento de esgoto doméstico: emissões de gee e valorização de biomassa**

na produção de biometano. 2016. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/171996/342309.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

UNEP – United Nations Environment Programme. **International Declaration on Cleaner Production – Implementation Guias for Companies.** UNEP – Division of Technology, Industry and Economics – Production and Consumption Branch 2001. 23p.

VON SPERLING, M. **Lagoas de Estabilização:** Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. 2a Ed. Belo Horizonte: UFMG, 196 p., 2002.

ZARO, Janiel Rodrigo; MORAES, Carlos Alberto Mendes. **O conceito de energia embutida na valorização de resíduos industriais como co-produto.** In: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 8, 2017, Curitiba, 2017. p. 1 - 7.